

A close-up photograph of a metallic robotic arm, likely a deep-sea mining vehicle, resting on a dark, rocky seabed. The arm is composed of several interconnected metal plates and joints, secured with numerous bolts. The lighting is focused on the arm, highlighting its industrial design against the dimly lit background of the ocean floor.

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI  
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL  
*natur* **VIDENSKAB**

**DYBHAVETS  
VÆRDIFULDE  
MANGANKNOLDE**

På nattejagt med vilde flagermus  
Narkolepsi – når søvnen bliver slået i stykker  
Kveller – en plante til folkesundhed og grøn energi





Foto: Colourbox

## Hold øje med foråret

Hvornår springer bøgen ud? Hvornår ser du årets første svale? Blomstrer hylden tidligere, end den plejer? Og vågner pindsvin fra vinterhi tidligere i byen end på landet? Den slags spørgsmål vil forskere fra Københavns Universitet gerne have din hjælp til at undersøge, og det kan du gøre på hjemmesiden arter.dk. Her kan du oprette dig som bruger og finde information om, hvad du lige nu og her kan holde øje med i naturen.

Kilde: arter.dk

## Bloom vender tilbage

Natur- og videnskabsfestivalen Bloom vender tilbage i fuld skala for første gang siden 2019 og udvider med en ekstra dag. Det sker i dagene 27. - 29. maj 2022 i Søndermarken i København. På festivalen står forskere fra ind- og udland side om side med nyskabende bands, forfattere og kunstnere. Mød blandt andet den britiske bevidsthedsforsker Anil Seth, astrofysikeren Jocelyn Bell Burnell, den franske synthpop-musiker Oklou, forfatter Svend Åge Madsen, epidemiolog Lone Simonsen samt den britiske videnskabsformidler Lewis Dartnell. Der er fri entré. Læs mere på: [www.bloom.ooo](http://www.bloom.ooo)

## Quizen

Hvad har personer, som mangler stoffet hypocretin i hjernen, svært ved?

A) At huske B) At holde sig vågne C) Hånd-øje-koordination

Find svaret i artiklen om sygdommen narkolepsi.



## Vandkamp i gymnasiet

LIFE-fonden har for nylig introduceret deres første undervisningsforløb til ungdomsuddannelserne. Forløbet hedder Vandkamp og er udviklet til STX-uddannelsen i faget Naturgeografi B. I Vandkamp skal gymnasieelever undersøge fremtidens klima ud fra autentiske data og modeller. De skal på feltarbejde i deres egne lokalområder og udtænke en klimatilpasningsløsning til et område i Danmark. Læs mere om forløbet på [LIFE.dk](http://LIFE.dk), hvor man også kan booke et forløb (hvilket er gratis).

## Næste stop: Uranus?

Ifølge en rapport fra et panel af amerikanske plante-forskere, bør NASA prioritere at sende en mission til planten Uranus. Da NASA næsten altid følger panelets råd, er det derfor meget sandsynligt, at Uranus igen vil få besøg af en rumsonde, hvilket ikke er sket siden 1986, hvor Voyager2-missionen lagde vejen forbi. En ny ekspedition vil kunne hjælpe med at afklare en række interessante spørgsmål om Urans, såsom hvorfor planeten roterer med en vinkel på næsten 90 grader i forhold til dens baneplan, og hvordan den har udviklet sit komplekse magnetfelt.

Kilde: Nature.com

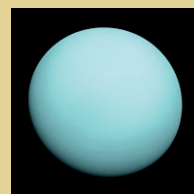


Foto: NASA/JPL-Caltech

## Artsudvikling i højden

Ved hjælp af DNA-sekventering har lektor på Statens Naturhistoriske Museum Knud Andreas Jønsson sammen med et stort internationalt forskerhold undersøgt den genetiske variation i 18 fuglearter, som alle har populationer på to forskellige bjerge på den tropiske ø Ny Guinea. Det viser sig, at mens bestandene i lavlandet er genetisk ret ensartede, øges forskellene i fuglenes arvemateriale jo længere op på bjerget, man kommer. Nogle af forskellene er endda så store, at man kan argumentere for, at der er tale om forskellige arter. Det peger ifølge forskerne på, at fuglearter opstår i lavlandet, hvorefter de over millioner af år flytter højere og højere op i bjergene – formentlig på grund af både konkurrence og klimaændringer – for til sidst at uddø. Derfor bliver bjergtoppe ligesom øer ofte kaldt for evolutionære blindgyder.

Kilde: KU/Nature Communications



Skovfuglen irrit (Irita Kowald). Foto: Knud Andreas Jønsson

## Kvantefysiker får Dronningens videnskabspris

Den 11. maj overrækker H.M. Dronningen sin videnskabspris, stiftet af Videnskabernes Selskab, for 7. gang. I år går den til den internationalt anerkendte kvantefysiker Peter Lodahl. Han er professor i kvantefysik og kvanteteknologi ved Niels Bohr-institutet og centerleder ved Danmarks Grundforskningsfonds Center for Hybrid Quantum Networks. Han får prisen for sin skelsættende forskning på kvanteoptikkens område, herunder i foton-atom-vekselvirkningen i faste stoffer.



Foto: Lars Svankjær

Kilde: Videnskabernes selskab

# indhold



## Narkolepsi – når søvnen bliver slået i stykker

Et par tusinde danskere lider af den invaliderende sygdom narkolepsi, som gør det umuligt for dem at holde sig vågne i længere tid ad gangen om dagen og sove i længere tid ad gangen om natten. Forskere leder efter årsagen til sygdommen for at finde bedre måder at behandle den på.

8



## Kveller – En plante til folkesundhed og grøn energi

Den saltelskende plante kveller rummer et stort potentiale til brug i både sundhedsfremmende og bæredygtige produkter – lige fra planteekstrakter, der forebygger sygdom, til jet-brændstof. Alt dette med minimal CO<sub>2</sub>-udledning og uden brug af giftige kemikalier.

20

## FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Narkolepsi – når søvnen bliver slået i stykker
- 14 Grøn omstilling mod en mere plantebaseret kost
- 20 Kveller – En plante til folkesundhed og grøn energi
- 24 Dybhavets værdifulde manganknolde
- 30 Hvordan bliver planterne gamle?
- 34 På nattejagt med vilde flagermus
- 40 BØGER
- 44 BAGSIDEN:  
Ældgammelt krater forklædt som ungt



## Dybhavets værdifulde manganknolde

På havbunden i dybhavet er der områder oversået med knolde, som er rige på værdifulde metaller. Der er store kommercielle interesser i at høste disse manganknolde, men hermed risikerer vi også at ødelægge et unikt levested for dybhavsorganismer.

24



## På nattejagt med vilde flagermus

Flagermus udgør en fjerdedel af klodens pattedyrsarter og spiller vigtige roller i økosystemerne. Ved hjælp af mikrocomputere bliver vi nu klogere på disse fascinerende dyrs adfærd.

34

## AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Udgiver

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

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet

### Ansvarshavende

David Lundbek Egholm, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

### Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlgaard

Tlf.: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITET



AARHUS  
UNIVERSITET



KØBENHAVNS  
UNIVERSITET



DET NATURVIDENSKABELIGE  
FAKULTET



DET TEKNISKE  
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-  
ABONNENTER



novo nordisk®

# Viden om mikroorganismer skal afløse sprøjtegift

**M**ed de rigtige mikroorganismer i jorden kan landmænd i fremtiden måske helt undlade at bruge sprøjtegifte. Lektor Morten Dueholm fra Institut fra Kemi og Biovidenskab ved Aalborg Universitet er sammen med sine kollegaer i færd med at kortlægge, hvilken betydning mikroorganismer har for planternes vækst og trivsel.

Ved at bruge DNA-teknologi til at analysere jordbundsprøver kan Morten Dueholm finde frem til, hvilke mikroorganismer der lever i jorden på en given mark. Det kan være bakterier, rundorme, svampe eller andet, der lever og trives i symbiose med planterne. Den viden er særdeles nyttig at have, for organismerne rummer på vigtige nøgler til, hvordan planter trives og vokser.

»Der kan være bakterier eller svampe, som hjælper planterne med at optage næring, eller som beskytter dem mod infektioner og sygdomme,« forklarer han. »Målet er at kunne skelne de godartede fra de ondartede og kortlægge samspillet mellem mikroorganismerne i jorden og de forskellige planter. På



Foto: Colourbox

den måde kan man bruge organismerne til at skabe de bedste vækstforhold for planterne.«

Kortlægningen er dog en krævende opgave. Morten Dueholm anslår, at vi stadig kun kender til og forstår ganske få procent af de mikroorganismer, der findes i jorden. Ofte er det kun en lille del af organismernes DNA-strenger, der bliver kortlagt. Det betyder, at forskerne endnu ikke kan navngive dem, fordi en formel navngivning kræver, at man isolerer de enkelte mikroorganismer eller på sigt skaffer et komplet DNA-aftryk.

Konsekvensen af de manglende navne er, at organismerne stadig er svære at genkende

og sammenligne. Derfor vil der ifølge Morten Dueholm gå adskillige år, før vi har et fuldstændigt overblik over dem. Potentialet er til gengæld kæmpestort. Med den rigtige viden, kan landbruget nemlig i fremtiden udnytte mikroorganismernes forskellige egenskaber til helt at undgå at benytte sig af sprøjtegifte og i stedet udelukkende benytte sig af bæredygtige, biologiske metoder.

Mikroorganismernes tilstedeværelse afhænger for en stor dels vedkommende af de afgrøder, man planter. Derfor vil man langt hen ad vejen – når man har styr på, hvilke organismer, der har hvilke egenskaber – kunne skabe de bedst mulige forhold for sine afgrøder, for eksempel ved at danne en rotationsordning mellem hvad man sår på sine marker, forklarer Morten Dueholm.

»Målet er, at vi om fem – ti år kan bruge vores viden om jordens mikroorganismer til at udfase sprøjtegifte og på den måde optimere vores dyrkningsprocesser i landbruget på en bæredygtig måde,« siger han.

Jakob Brodersen, Aalborg Universitet

## Kunstig intelligens mod leversygdom

**P**å verdensplan koster leversygdomme hvert år to millioner menneskers livet. Det første tegn på de fleste leversygdomme er leverfibrose, hvor sunde celler erstattes af ar. Ofte forværres den i stilhed med et fatalt udfald, når arvæv på leveren ikke opdages i tide, og skaden på det vitale organ er uoprettelig.

Nu har et hold forskere fra Det Tekniske Fakultet på SDU i samarbejde med lægefaglige eksperter på Odense Universitetshospital udviklet en metode, som ved hjælp af kunstig intelligens kan afsløre leverfibrose i tide. Eller rettere: Metoden kan ud fra data og ved brug af kunstig intelligens med næsten 99 procent sikkerhed udelukke personer, som ikke har sygdommen. Det betyder, at man kan koncentrere sig om den resterende risikog-

ruppe, som så kan blive undersøgt nærmere med enten scanning eller biopsi.

»Vores ambition var at udvikle en metode, hvor du ved hjælp af en standard-blodprøve hos din praktiserende læge hurtigt og let kan afgøre, om du er i risiko for at have sygdommen. Og det er faktisk lykkedes i vores forsøg,« siger specialist i biostatistik og dataanalyse Victoria Blanes-Vidal, der er lektor ved Applied AI and Data Science Unit (AID) ved Mærsk Mc-Kinney Møller Institutet på SDU.

Hidtil har undersøgelser for leverfibrose krævet enten en invasiv producere, hvor der tages en biopsi fra leveren, eller en ultralydsscanning af leveren, som er dyr og kræver, at man tager på hospitalet. En

tredje mulighed har været via blodprøver, men det kræver særlige analyser, som ikke er standard.

I det nye studium har forskerne med baggrund i 3352 personers sundhedsoplysninger, blodprøver og data om alder, køn, vægt og alkoholindtag bygget en AI-model, som kan udelukke personer med risiko for at have sygdommen. Faktisk har forskergruppen haft hele 233 forskellige parametre med i undersøgelsen, men ambitionen var at bruge få data for at lette metoden og gøre den mest mulig tilgængelig.

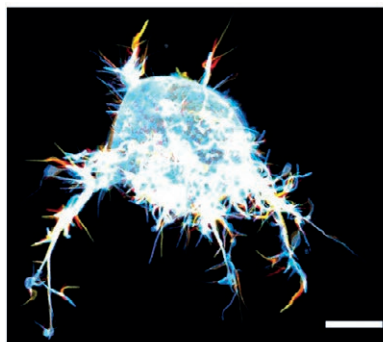
Resultaterne er publiceret i tidsskriftet *Scientific Reports*.

Jakob Haugaard Christiansen/SDU-tek



# Cancerceller får hjælp af blækspruttearme

**M**ed blækspruttelignende arme skubber en immuncelle sig fremad mod bakterien som et rovdyr, der jager sit bytte. Scenen kunne være fra et naturprogram, men i stedet befinder vi os i nanoskala set gennem et mikroskop på Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Her har et forskerhold netop gjort verden klogere på, hvordan celler bruger blæksprutteagtige fimrehår til at bevæge sig rundt inde i vores kroppe.



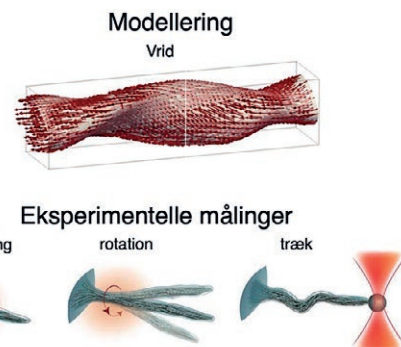
Til venstre ses fimrehår på en celle. Den hvide bjælke er 10 µm. Foto/illustration: Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

»Cellen har jo ikke øjne eller lugtesans, men dens overflade er forsynet med meget fine fimrehår, som minder lidt om snoede blækspruttearme. Hårene hjælper cellen med at bevæge sig hen mod for eksempel en bakterie, og samtidig fungerer de som følehorn, der identificerer bakterien som et bytte,« forklarer lektor Poul Martin Bendix.

At fimrehårene fungerer som følehorn var allerede beskrevet, men at de kan rotere og i øvrigt opføre sig mekanisk og hjælpe cellen med at bevæge sig, som når en cancercelle invaderer nyt væv, er en ny opdagelse. Mekanismen ser ud til at findes i alle levende celler.

»Det er oplagt, at vores resultater er interessante for kræftforskere. Cancerceller er som bekendt meget invasive, og det er nærliggende at tro, at de er ekstra afhængige af, at deres fimrehår er effektive med hensyn til at undersøge omgivelserne og hjælpe dem i deres ekspansion. Dermed kan man også tænke sig, at hvis man kan finde specifikke måder at hæmme cancercellers fimrehår, kan man også bremse deres vækst,« siger Poul Martin Bendix.

Netop derfor indgår forskere fra Danish



Cancer Society Research Center i holdet bag opdagelsen. Resultaterne er muliggjort af, at NBI råder over nogle af verdens bedste optiske pincetter til biomekaniske undersøgelser. Når et emne er tilstrækkeligt småt, er det umuligt at holde det fast mekanisk. Til gengæld kan man fastholde emnet ved hjælp af laserlys med en bølgelængde, der er nøje afstemt til det pågældende objekt. Det kaldes en optisk pincet.

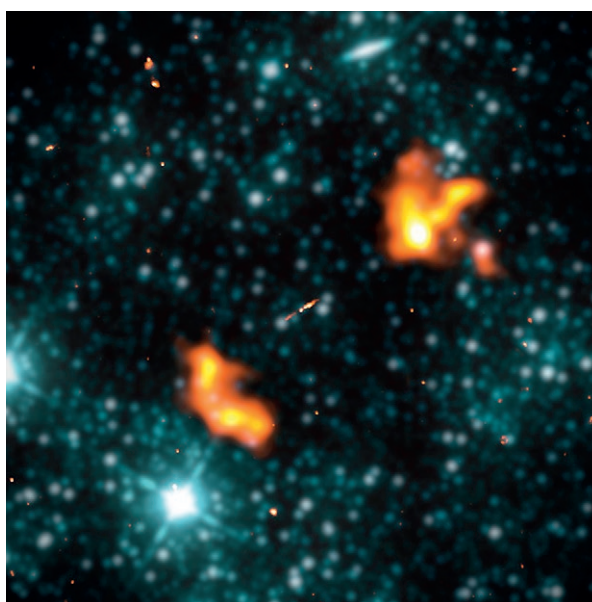
Morten Andersen, Københavns Universitet.

Nature Communications 13, artikelnr: 1636 (20

## En gigant blandt kæmper

**A**strofysikere har for nylig opdaget den hidtil største radiogalakse, videnskaben endnu har set. En radiogalakse er en galakse, der inkluderer gigantiske områder med radioemission, der strækker sig langt ud over galaksens synlige struktur. Forskere har indtil nu observeret omkring 1000 radiogalakser i Universet. Med sine 5 megaparsec – cirka 16 millioner lysår – på tværs, er den nyopdagede radiogalakse en kæmpe selv i radiogalaksernes verden. Den er til sammenligning cirka 100 gange bredere end Mælkevejen.

Martijn Oei fra universitetet i Leiden og kolleger opdagede den gigantiske struktur, som har fået navnet Alcyoneus efter en kæmpe fra den græske mytologi, ved at analysere



Billedet viser den gigantiske radiogalakse Alcyoneus, hvor de to orange plamager er enorme områder med radioemission, der strækker sig langt ud over galaksens synlige struktur. Billede: Oei, M. S. S. L. et al. Astron. Astrophys. 660, A2 (2022).

billeder fra en serie radioteleskoper. Bortset fra størrelsen, er egenskaberne af Alcyoneus – såsom massen af dens stjerner og det centrale sorte hul – tilsvarende, hvad man har observeret i andre store radiogalakser.

Men de foreløbige analyser tyder på, at Alcyoneus kan befinde sig i et miljø med mindre masseæthed end de fleste af dens artsfæller. Ifølge forskerne kan et sådant miljø have begunstiget strukturens ekstraordinære vækst. Forskerne håber, at opdagelsen af denne kæmpe kan hjælpe forskerne med bedre at forstå radiogalakser, idet mekanismerne bag deres dannelse stadig er stort set ukendte.

CRK, Kilde: Nature/ Astron. Astrophys



# Vi overser en vigtig ting om jordskælv

Som et gigantisk puslespil deler de tektoniske plader jordklodens overflade op i større og mindre brikker. Brikkerne er i konstant bevægelse på grund af jordens flydende mellemste kappe, som pladerne langsomt sejler rundt på. Det er de bevægelser, som af og til udløser jordskælv – som i 1999, hvor et jordskælv ramte byen Izmit i Tyrkiet og kostede 17.000 mennesker livet.



Foto: Colourbox

Der er bred konsensus om, at jordskælv forårsages af en envejsmekanisme: Pladerne bevæger sig mod hinanden, hvorved energi langsomt opbygges langs kanterne af pladerne, som til sidst udløses i et jordskælv. Dette sker om og om igen med årtiers mellemrum i en konstant gnidende bevægelse.

Men i et nyt studie viser forskere fra Københavns Universitet, at Jordens plader kan opføre sig på nye måder efter et jordskælv. Ved hjælp af omfattende GPS-data og analyser af

jordskælvet i Tyrkiet kan forskerne konkludere, at den anatolske kontinentalplade har skiftet retning efter jordskælvet. Datene viser også, at dette har påvirket antallet af jordskælv omkring Tyrkiet efter 1999.

»Selve jordskælvene kan få pladerne til at opføre sig anderledes bagefter,« siger postdoc Juan Martin de Blas og tilføjer:

»Når pladernes bevægelse ændrer sig, har det betydning for mønstret i de næste

jordskælv. Hvis en tektonisk plade ændrer retning mod andre plader eller bevæger sig i et andet tempo efter et jordskælv, kan det potentielt have betydning for den seismiske aktivitet omkring nabopladerne.«

De nye opdagelser giver ifølge forskerne klar anledning til at tage et grundigt kig på de modeller, som bruges til at vurdere den statistiske risiko for fremtidige jordskælv. Modellerne formoder nemlig alle, at pladernes bevægelse forbliver konstant.

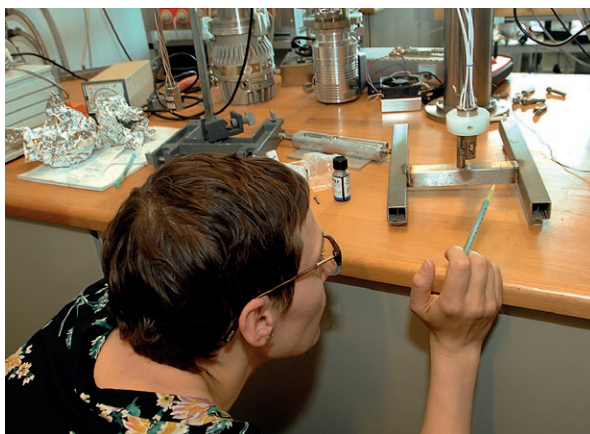
»Men det kan vi med dette studie se ikke passer. Derfor kan modellerne nu videreudvikles, så de tager højde for den feedback-mekanisme, der sker efter et jordskælv, hvor pladerne skifter retning og hastighed,« siger lektor Giampiero Iaffaldano.

*Michael Skov Jensen, Københavns Universitet. Geophysical Journal International, Vol. 229, Issue 3, Juni 2022, s. 1754–1769*

## Når glas ældes

En gruppe forskere fra Roskilde Universitet har i et nyt studium vist, at det under visse forhold er muligt at forudsige den fysiske ældning af glasmaterialer – et problem, som forskere indenfor feltet har tumlet med i mange år.

Glasmaterialer dannes ud fra væsker, der under afkøling bliver mere og mere sejtflydende. I det størknede, faste glasmateriale er molekylerne mere eller mindre tilfældigt arrangeret i modsætning til krystallinske materialer, hvor molekylerne er arrangeret i en velordnet gitterstruktur. Glasmaterialer er således en bred kategori af materialer, der udover de materialer, vi normalt opfatter som glas, også omfatter for eksempel materialer som rav og plastik. Det er karakteristisk for glasmaterialer, at de ikke er i termodynamisk ligevægt. Det betyder, at materialerne "ældes" med tiden, ved at molekylerne i materialet langsomt omarrangerer sig, mens materialet kemisk set forbliver uforandret. Den fysiske ældning kan betyde,



Kristine Niss i færd med at fylde den målecelle, der er brugt i eksperimentet. Foto: Hanne Engeltoft Lund

at materialet skrumper over tid, hvilket dermed kan have praktisk betydning, hvis det foregår med en hastighed, der er relevant for levetiden af et produkt, som materialet bruges i. Men at forudsige hastigheden af denne fysiske ældning af glasmaterialer har været en hård nød at knække for forskerne, idet det ikke er en lineær proces.

I det nye studium har forskerne fra RUC

efterprøvet en model med navnet "material time", som stammer fra 1971, og som beskriver, at ældningen kan forudsiges ud fra, hvordan materialet reagerer på temperaturudsving i væske-tilstand. Forskerne har udført forsøg med to materialer i både deres væsketilstand og glastilstand, og ved at kombinere den gamle model og data fra væsketilstanden har de kunnet forudsige glassets opførsel. At den fysiske ældning af glasset går langsommere med tiden, har forskerne vist længe, men nu kan de forudsige, præcis hvor meget langsommere ældningen foregår med tiden. Ifølge

professor Kristine Niss, som er en af forskerne bag det nye studium, tyder resultaterne på, at glas ligner væske mere end man før har troet.

Forskningen er udført som en del af Projekt Matter under ledelse af professor Jeppe Dyre. Projekt Matter er finansieret af VILLUM FONDEN.

*CRK, Kilde: RUC/ Science Advances, DOI: 10.1126/sciadv.abl9809*



# Søer kan binde mindre kulstof i fremtiden

**D**anmarks søer er vigtige redskaber til at binde kulstof. Men i takt med de stigende temperaturer mister vi det redskab, viser nyt studie fra Syddansk Universitet.

To tredjedele af Danmarks søer er lavvandede, og det er netop dem, der trues mest:

»De lavvandede søer på vores breddegrader er effektive til at binde kulstof og dermed forhindre  $\text{CO}_2$  i at slippe ud i atmosfæren. Eller det har de i hvert fald været, for det ser ikke så godt ud mere,« siger Henning S. Jensen, der i mange år har forsket i danske søers og vandløbs sundhed og nu er medforfatter på et studie af, hvordan temperaturstigninger påvirker vores lavvandede søer – altså søer med max 3-4 meters dybde.

Nogle af Danmarks største søer er lavvandede; eksempelvis Arresø i Nordsjælland og Arreskov Sø på Fyn.



Mesokosmer – de små sømiljøer – som forskerne eksperimenterede med i studiet. Foto: Henning S. Jensen.

Studiets konklusioner bygger på et 11 år langt eksperiment, hvor forskerne udsatte 24 små sø-miljøer, såkaldte mesokosmer, for forskellige påvirkninger. Et mesokosmos er et udendørs eksperiment, der undersøger det naturlige miljø under kontrollerede forhold. I løbet af årene blev de udsat for blandt andet temperaturstigninger og ændringer i næringstilførsel.

»Vi så blandt andet, at temperaturstigninger fik indflydelse på sedimentets evne til at lagre kulstof. Da vi formoder, at mekanismerne er de samme ude i de virkelige søer som i vores videnskabelige forsøgs-miljø, betyder det, at der i dag bindes mindre kulstof i de lavvandede søers mudder end tidligere. Det betyder også, at det kun vil blive mindre i fremtiden,« siger Henning S. Jensen.

Årsagen er, at der omsættes mere organisk materiale i søerne, når vandet bliver varmere. Omsat materiale frigiver kulstof til atmosfæren i modsætning til materiale, der får lov at synke ned og lagres i søbunden.

Henning S. Jensen mener ikke, det er realistisk at stoppe denne udvikling. I stedet vil han opfordre til at kigge efter andre steder i den danske natur at binde kulstof. Det kunne især være vådområder som moser og enge.

Birgitte Svennevig, SDU. : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153751>

## Bliv studerende for en dag

SDU



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 så bliver du klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

Besøg Anvendt matematik, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Datalogi, Farmaci, Fysik, Kemi, Matematik eller Matematik-Økonomi på SDU i Odense.

Tilmeld dig på [sdu.dk/nat/studerendeforendag](https://sdu.dk/nat/studerendeforendag)





**Forfatter**  
Kristian Sjøgren,  
videnskabsjournalist



#### Om forskeren

Birgitte Rahbek Kornum har en uddannelse, der omfatter en bachelorgrad i kemi fra DTU, en master i human biologi fra Københavns Universitet og en ph.d. i neurovidenskab fra Københavns Universitet.

I sin videre forskerkarriere har hun blandt andet været postdoc på Stanford University i USA. I dag er hun lektor ved Institut for Neurovidenskab, Københavns Universitet. Her leder hun en forskningsgruppe, der beskæftiger sig med neurofysiologien forbundet med søvn og vågen tilstand med fokus på det såkaldte hypocretin-system.

# NARKOLEPSI

## – når søvnen bliver slået i stykker

**Et par tusinde danskere lider af den invaliderende sygdom narkolepsi, som gør det umuligt for dem at holde sig vågne i længere tid ad gangen om dagen og sove i længere tid ad gangen om natten.**

**Danske forskere leder efter årsagen til sygdommen for at finde bedre måder at behandle den på.**

**D**e fleste mennesker kender til følelsen af hele tiden at være træt, når man har influenza eller lige er kommet sig efter en influenza. Det kan være svært at holde øjnene åbne, og mange sover også dårligt om natten.

For mellem 2.500 og 3.000 danskere er den ødelagte søvnrytme ikke et forbipasserende fænomen i forbindelse med en influenza, men i stedet dagligdagen hver eneste dag året rundt i resten af deres liv. De lider af sygdommen narkolepsi, der foruden at være invaliderende også ofte efterlader den ramte på

førtidspension og uden uddannelse. De kan simpelthen ikke holde sig vågne i det omfang, der skal til for at sidde på skolebænken eller varetage et job.

Lektor Birgitte Rahbek Kornum fra Institut for Neurovidenskab ved Københavns Universitet har viet sin forskningskarriere til at forstå narkolepsi med henblik på at udvikle behandlinger til patienter, så de kan få et mere normalt liv.

»Narkolepsi er formentlig en autoimmun sygdom, hvor immunforsvaret ødelægger de hjerneceller, som producerer søvnregulerende stoffer.

Desværre er det sådan, at når først de celler er gået i stykker, er der ikke noget at gøre, og så kan vi kun symptombehandle. Men hvis vi kan få en bedre forståelse af sygdommen, kan vi måske udvikle bedre behandlinger og behandle tidligere, inden sygdommen ødelægger folks liv,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

#### **Narkolepsi skyldes mangel på søvnregulerende stof i hjernen**

Narkolepsi er omgærdet af både en masse fordomme og en masse usikkerhed.

Det står dog klart, at sygdommen manifesterer sig ved, at den ramte



er meget træt om dagen og har behov for at tage sig mange lure. Den gængse forestilling, at personer med narkolepsi falder spontant i søvn, holder ifølge Birgitte Rahbek Kornum ikke vand.

Omvendt sover personer med narkolepsi også dårligt om natten, og sygdommen er i det hele taget karakteriseret ved, at det for den ramte er meget svært enten at være vågen eller sove i længere tid ad gangen.

Går vi et spadestik dybere i sygdommens patologi, er den yderligere karakteriseret ved manglende produktion af stoffet hypocretin i hjernen.

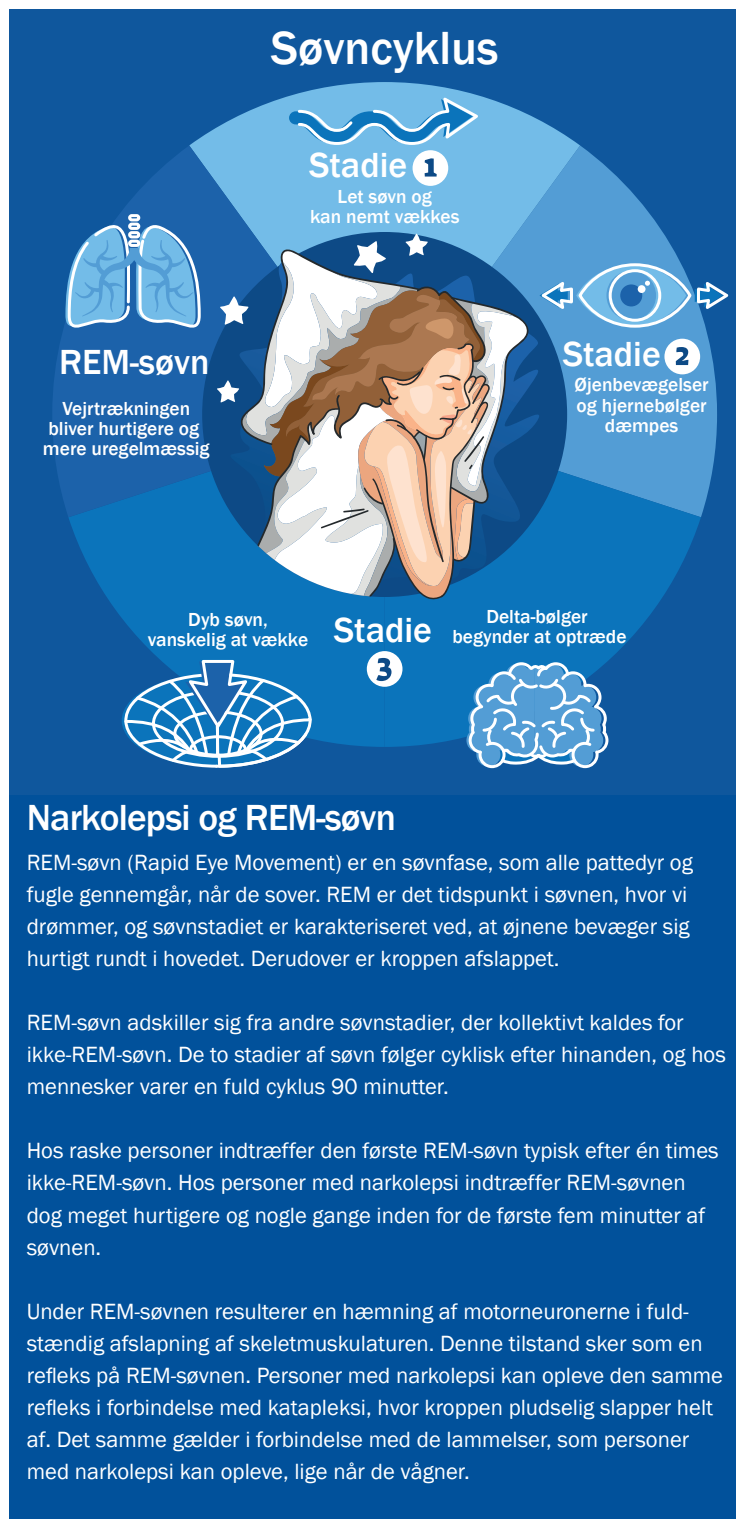
Hypocretin er hjernens søvnregulerende middel og med til at sikre, at vi kan holde os vågne i lang tid ad gangen. Uden hypocretin lukker øjnene i af sig selv hele tiden.

»Personer med narkolepsi bliver født raske, men udvikler så sygdommen i teenageårene, hvor de pludselig mister evnen til at producere hypocretin og derfor bliver overdrevent trætte. Det er en ret speciel sygdom, og forskningen på området kredser lige nu om at forstå, hvad der sker i hjernen, når den pludselig i teenageårene ikke længere er i stand til at producere det stof, som skal holde os vågne,« forklarer Birgitte Rahbek Kornum.

### Kroppen bliver lammet i forbindelse med søvn

Selvom den enorme træthed er den mest invaliderende manifestation af narkolepsi, er sygdommen også karakteriseret ved andre søvnrelaterede dysfunktioner.

Blandt andet oplever personer med narkolepsi ofte drømmesyn eller hallucinationer, lige inden de falder i søvn. I modsætning til hallucinationer i forbindelse med eksempelvis skizofreni, hvor den sindslidende ikke ved, at det drejer sig om hallucinationer, så ved personer med narkolepsi godt, at synene ikke er rigtige.



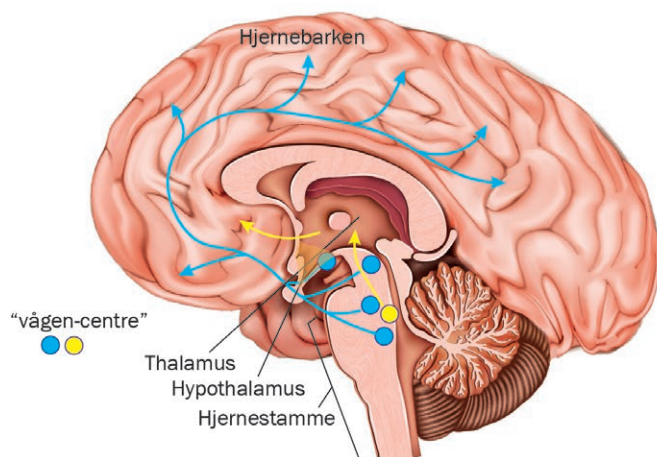
Personer med narkolepsi har også ofte drømme, hvor de er bevidste, mens de drømmer (dette kaldes lucide drømme). Det er dog ikke den eneste udfordring i forbindelse med drømmene.

Hos raske personer bliver kroppen lammet i forbindelse med drømmesøvnen, hvilket modvirker for man-

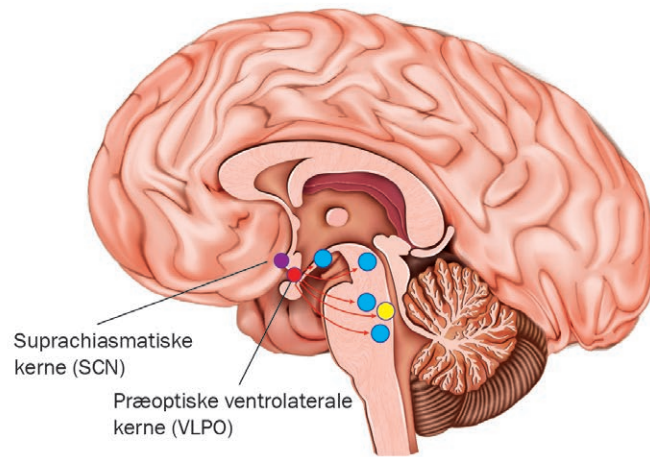
ge voldsomme og ubevidste bevægelser, der kan resultere i skader. Lammelserne er dog forbigående og forsvinder igen, når drømmene er slut.

Hos personer med narkolepsi kan lammelserne godt fortsætte, selv efter personerne er vågne. Så kan de ikke gøre andet end at ligge og

Vågen hjerne



Sovende hjerne



Figuren viser nogle vigtige hjernestrukturer, der spiller en rolle i, om hjernen er i vågen eller sovende tilstand. Når vi er vågne, sender specifikke områder lokaliseret i hjernestammen og hypothalamus signaler, der stimulerer hjernebarken. Disse signaler holder neuronerne i hjernebarken aktive, hvilket tillader komplekse hjernefunktioner som hukommel-

se og tale (venstre figur). Den suprachiasmatiske kerne er en lille gruppe neuroner i hypothalamus, som kontrollerer vores døgnrytme (den cirkadiske rytme) inklusive vores søvn-vågen cyklus. Neuroner i et område kaldet den præoptiske ventrolaterale kerne (VLPO) fremmer søvn ved at frigive signalstoffer, som reducerer aktiviteten i "vågen-centrene" (højre figur).

vente på, at lammelserne fortager sig. Hos nogle personer med narkolepsi indtræffer lammelserne allerede i forbindelse med, at de forsøger at falde i søvn.

»Det kan være enormt ubehageligt. Der findes til narkolepsi en række underfænomener, der er relateret til forstyrret søvn, men den altoverskyggende værste konsekvens af sygdommen er trætheden. De andre ting kan patienterne godt leve med,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

Der findes ingen årsagsbehandling til personer med narkolepsi. Deres eneste håb for lindring er amfetaminlignende lægemidler, der kan fjerne det værste af trætheden. Jo tidligere behandlingen påbegyndes, jo bedre er udsigten.

»Mange personer med narkolepsi lider også af katapleksi, der er pludselige muskellammelser, som får den lidende til at falde om. Også det problem kan blive hæderligt behandlet. For alle behandlingerne gælder det, at de skal igangsættes så hurtigt som muligt, men faktisk er det sådan, at rigtig mange personer med narkolepsi går i flere år uden at få stillet en diagnose.

Derfor skal der mere fokus på denne sygdom, så flere kender til den og er opmærksomme på tegnene,« siger Birgitte Rahbek Kornum,

### Immunforsvaret angriber hjernens celler

Når folk udvikler narkolepsi, sker det ofte i forbindelse med en virus-sygdom som influenza.

Den herskende teori er lige nu og her, at virusinfektionen får immunforsvaret til at tage fejl af virus og hjernens hypocretinproducerende celler. Derfor går immunforsvaret til angreb på cellerne, og når de først er ødelagt, kan de ikke gendannes. Det gør narkolepsi til en kronisk sygdom, der varer hele livet.

»Der er nogle tegn på, at en del af influenzavirus ligner en del af de hypocretinproducerende celler, og det er årsagen til, at immunforsvaret tager fejl. Mange forskere har forsøgt at identificere denne stump og undersøge dens rolle i sygdomsudviklingen, men disse undersøgelser har også fundet den samme stump i hjernen hos raske personer. Vi har altså ikke fundet den rygende pistol, og det gør det svært at sætte fingeren på den specifikke sygdomsmekanisme,« forklarer Birgitte

Rahbek Kornum.

Problemet med at kortlægge den præcise årsag til udvikling af narkolepsi og immunforsvarets rolle i sygdomsudviklingen skal også findes i, at når immunforsvaret først har ødelagt de hypocretinproducerende celler, forsvinder immunforsvars-cellerne igen.

»Så når vi kigger i blodprøver eller rygmarsvæsken fra personer med narkolepsi, så har patienterne kun meget lave niveauer af immunforsvarets T-celler, der er målrettet kroppens egne hypocretinproducerende celler. Selve immunreaktionen er overstået, og det gør det svært at kortlægge, hvad der sker,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

### Vaccine øgede risikoen for at udvikle narkolepsi

For at få en bedre forståelse af sygdommen gør Birgitte Rahbek Kornum selv det i sin forskningsgruppe, at forskerne studerer narkolepsi i mus.

Her undersøger de blandt andet, hvad der sker i forbindelse med en influenzainfektion, og hvordan det kan forklare, hvorfor narkolepsi opstår.



Forskerne undersøger også effekten af en vaccine, der blev benyttet til vaccinering mod svineinfluenza for 10 år siden, men som senere blev fjernet fra markedet, fordi den var associeret med en lille forhøjet risiko for udvikling af netop narkolepsi.

»De forsøg er vi i færd med at lave nu, hvor vi vil undersøge, hvad der sker med søvnreguleringen og i hjernen på musene, idet de udvikler en narkolepsi-lignende tilstand som effekt af virusinfektionen eller vaccinen. Det gode ved musene er, at vi kan tage hjernen ud og undersøge den i laboratoriet. Det kan vi ikke gøre med mennesker,« fortæller Birgitte Rahbek Kornum.

### Meget aktive hjerneceller er måske ekstra sårbare

I Birgitte Rahbek Kornums laboratorium arbejder forskerne også med en anden teori for udvikling af sygdommen.

Teorien har base i, at de hypocretinproducerende neuroner er meget metabolisk aktive og hele tiden sender en masse signaler ud i omgivelserne. Samtidig er der en klar sammenhæng mellem metabolisk meget aktive celler og cellernes sårbarhed. Det er lidt ligesom en racerbil, der kan køre meget hurtigt, men til gengæld ikke er så robust.

De hypocretinproducerende celler er på den måde lidt sårbare, og der skal ikke meget til, før de bryder sammen. Det kan eksempelvis ske i forbindelse med en influenza, hvor de laver mindre hypocretin, hvilket kommer til udslag som træthed hos den influenzaramte.

Når sygdommen er overstået, vender hypocretinproduktionen tilbage til sit normale niveau, men det er forskernes teori, at det hos nogle mennesker ikke sker, og de derfor udvikler narkolepsi.

»Det kan være, at der på den måde er en genetisk disposition for, at nogle mennesker ikke kan tåle en hård influenza, fordi det kan lede til,

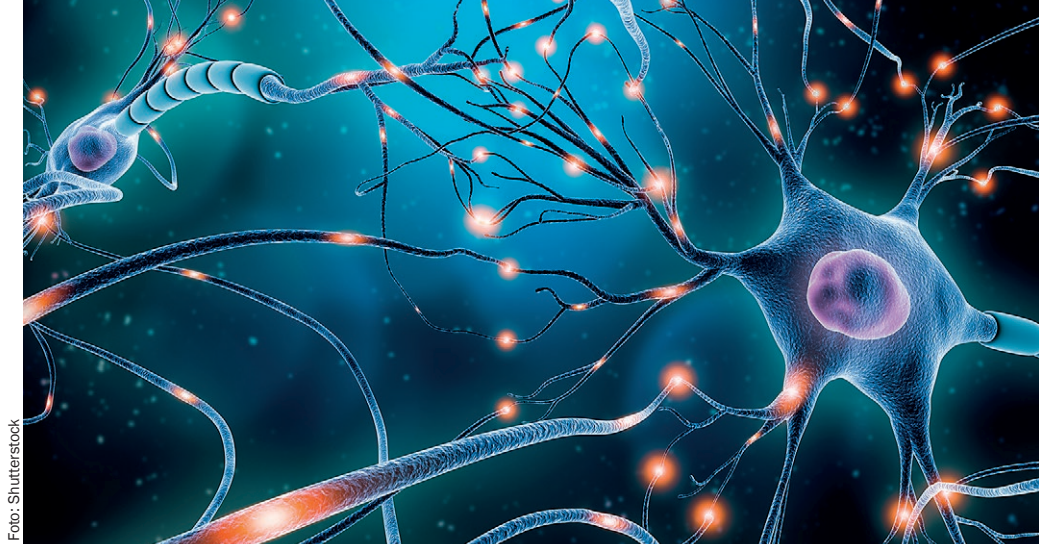
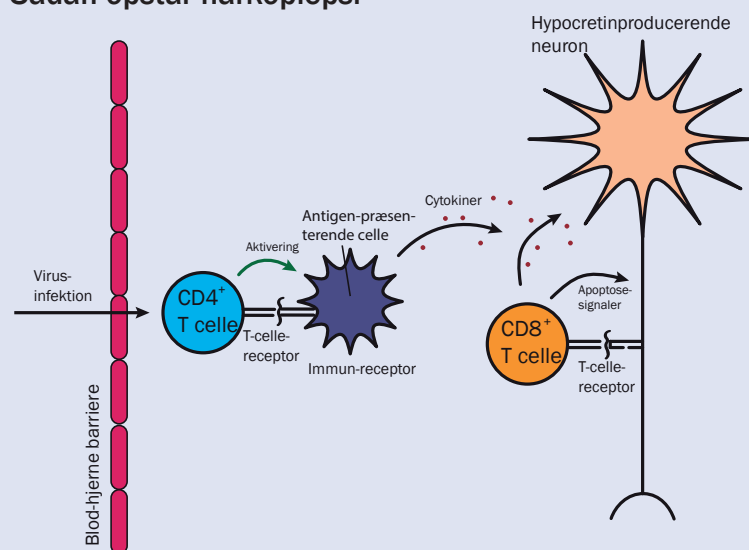


Foto: Shutterstock

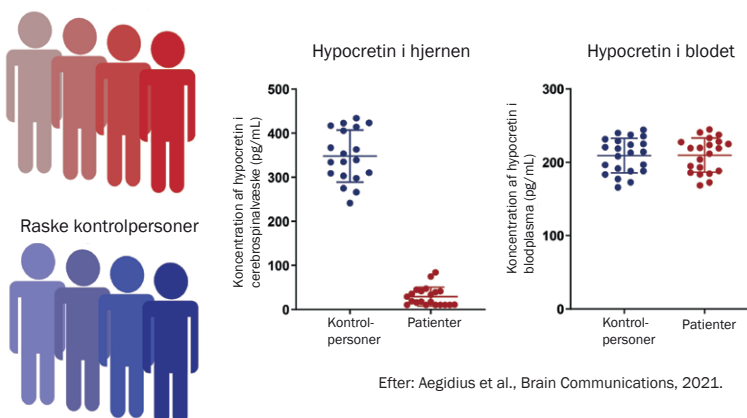
Søvn eller vågen – det hele handler om nervesignaler. Søvn er vigtig for at vedligeholde hjernens komplicerede netværk.

### Sådan opstår narkolepsi



Den dominerende hypotese for, hvordan sygdommen narkolepsi opstår, er, at en virusinfektion fremprovokerer en reaktion, hvor immunforsvaret tager fejl af virus og hjernens hypocretinproducerende neuroner. Figuren viser en række af de komponenter i immunsystemet, der er involveret i denne proces. Ultimativt fører processerne til, at der sendes såkaldte apoptose-signaler til de hypocretinproducerende neuroner – det vil sige signaler om, at cellen skal "slå sig selv ihjel". Når det først er sket, kan cellerne ikke gendannes.

Patienter med narkolepsi



Efter: Aegidius et al., Brain Communications, 2021.

Signalstoffet hypocretin findes i høj koncentration i hjernen hos raske mennesker, mens det mangler hos narkolepsi-patienter. Hypocretin har i mange år været svært at måle i blodet, men forskerne har for nylig udviklet en metode til netop dette formål og vist, at narkolepsi-patienter har normalt niveau af hypocretin i blodet. Det er kun i hjernen, det mangler, hvilket viser at sygdomsprocessen må være specielt rettet mod hjernevæv.

## Dyr kan også udvikle narkolepsi

Når forskere skal studere narkolepsi, gør de ofte brug af musemodeller for sygdommen. Der findes forskellige musemodeller for narkolepsi. Den ene type mus har fået ødelagt generne for de hypocretinproducerende celler i hjernen. To andre typer af mus har på to forskellige måder fået ødelagt selve de hypocretinproducerende celler. Resultatet af begge former for manipulation er, at musene ikke kan regulere deres søvnrytme hen over døgnet, og både deres dagtimer og nattetimer bliver forstyrret. Når forskere skal studere effekten af narkolepsi, observerer de blandt andet musenes adfærd og respons på forskellige behandlinger.

Foruden at agere modeller for narkolepsi i mennesker kan dyr også selv udvikle sygdommen. Heste, får og køer kan udvikle narkolepsi, og det samme kan katte og hunde. Hos dyr bliver sygdommen specielt bemærket, når dyrene samtidig har katapleksi, hvor de pludselig falder om, fordi deres muskler slapper helt af. Dyrene kan ligge helt stille og se ud, som om de sover. Dyrene er givetvis bevidste, når det sker.

at deres hypocretinproducerende celler ikke kan komme tilbage igen. En del data tyder på, at det kan være en mekanisme, og det er vi i færd med at undersøge. Hvis det viser sig, at der er denne sammenhæng, vil det være yderst interessant, fordi det kan betyde, at vi måske kan identificere en genetisk markør for risikoen for at udvikle narkolepsi. Personer med denne genetiske disposition skal i så fald være ekstra forsigtige i forbindelse med influenzasæsonen,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

### Måske skal narkolepsi behandles som diabetes

Birgitte Rahbek Kornum forklarer, at det altoverskyggende mål er at finde ud af, hvad sygdomsmekanismen er, så der kan udvikles nye behandlinger til patienterne.

Noget behandling kan dreje sig om at lindre symptomerne på sygdommen, mens andre former for behandling kan være målrettet selve sygdomsprocessen og gå ind og bremse immunforsvarets eventuelle angreb på de hypocretinproducerende celler.

Her kan man ifølge Birgitte Rahbek Kornum forestille sig, at behandling med immundæmpende medicin kan bremse sygdommen, inden den når at ødelægge de hypocretinpro-

ducerende celler helt.

»Immunforsvaret kan gå amok på forskellige måder, og det er vigtigt at finde ud af, hvad immunforsvaret gør i tilfældet med udvikling af narkolepsi. Det er også vigtigt at blive klogere på, hvad der skete i forbindelse med den vaccine mod svineinfluenza, der havde narkolepsi som sjælden bivirkning. Det skal vi finde ud af, så vi kan forhindre, at det sker igen,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

En anden mulighed, som også bliver undersøgt i øjeblikket, er behandling med hypocretin-agonister (en agonist er et stof, der kan binde sig til en receptor og derved stimulere en kemisk reaktion), der har samme effekt i hjernen som kroppens naturlige hypocretin. Det kan patienter med narkolepsi i teorien tage, på samme måde som patienter med diabetes tager insulin, fordi de ikke selv kan producere stoffet.

»Der var faktisk gang i et rigtig lovende klinisk studie, som desværre blev stoppet på grund af, at forsøgsparticipanterne udviklede nogle uventede bivirkninger. Det havde mange patienter ellers set frem til, fordi det kunne gøre en stor forskel for deres livskvalitet. Håbet er lige nu, at andre lægemiddelproducenter tør samle den idé op og udvikle

noget, som kan lindre sygdommen, men uden bivirkningerne,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

### Teenagehjerner er særligt sårbare

Et interessant aspekt er også risikoen for udvikling af narkolepsi under den igangværende COVID-19-pandemi.

Indtil videre er der ikke rapporteret om øget forekomst af narkolepsi blandt smittede med coronavirus, men det kan der komme, i takt med at folk oplever, at den enorme træthed, som de har mærket siden smitten med coronavirus, ikke forsvinder igen.

»Det går begge veje. Hvis vi kan forstå, hvorfor folk bliver trætte af infektioner med blandt andet influenzavirus og coronavirus, kan vi også bedre forstå narkolepsi. Men ved at forstå narkolepsi kan vi også blive klogere på, hvorfor virusinfektioner ser ud til at gøre folk trætte, både i forbindelse med smitten, men også i månedssvis bagefter,« siger Birgitte Rahbek Kornum.

Den danske forsker kigger selv mod en bedre forståelse af, hvorfor narkolepsi især kommer til udvikling i teenageårene. Noget tyder på, at teenagehjernen helt generelt er mere sårbar end på andre tidspunkter i livet. Blandt andet kan teenagere udvikle forskellige forstyrrelser i hjernen, hvis de ikke sover nok, drikker for meget kaffe eller drikker for meget alkohol.

»Der sker noget i teenagehjernen på det tidspunkt i livet, som ikke kun er relevant i forhold til narkolepsi, men relevant i forhold til hele søvnreguleringen og også risikoen for at udvikle psykiske sygdomme. Det er nogle af de ting, som vi selv kigger på i teenagemus for at finde ud af, hvad der gør hjernen særligt sårbar på dette tidspunkt i livet, og hvordan man kan beskytte den imod skader, så teenagere kan undgå at udvikle en lang række forskellige invaliderende sygdomme,« fortæller Birgitte Rahbek Kornum. ■

#### Videre læsning

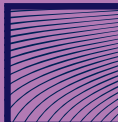
Birgitte Rahbek Kornum: *Forstå din søvn. Hvad videnskaben siger om god søvn, og hvordan du opnår det!* Bog, Gyldendal 2019.

#### Undervisningsmateriale:

Du kan finde et arbejdsark: *"Elevdesignet undersøgelse af søvnens betydning for kognitive funktioner"* til denne artikel på hjemmesiden: [aktuelt.naturvidenskab.dk](http://aktuelt.naturvidenskab.dk)

Artiklen er lavet som del af projektet Brobygning på første række, som knytter artikler til foredragsserien Offentlige foredrag i naturvidenskab (ofn.dk). Projektet er finansieret af Novo Nordisk Fonden.





**MAKE IT  
REAL**

**På AAU har vi en række tilbud til lærere og elever på de gymnasiale uddannelsesinstitutioner.**

Som lærer kan du bl.a. finde inspiration til din undervisning og tilbud om faglig opkvalificering.

I vores online videounivers, AAU Play, kan du streamer undervisningsmateriale og finde tilhørende opgavesæt, som dine elever kan arbejde med.

Når der er tid til SRP eller SOP, er der også hjælp at hente for dine elever med bl.a. masser af tilbud inden for de naturvidenskabelige og tekniske fag.

Du kan også tage en hel klasse med ud til os til et fagligt oplæg og en rundvisning.

**LÆS MERE PÅ:  
[AAU.DK/SAMARBEJDE](http://AAU.DK/SAMARBEJDE)**

# BESØG AALBORG UNIVERSITET



**AALBORG UNIVERSITET**  
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN



# GRØN OMSTILLING MOD EN MERE PLANTEBASERET KOST

Om forfatterne



Svend Daverkosen er cand. agro. og udviklings- og miljøchef ved Aarstiderne A/S. [sd@aarstiderne.com](mailto:sd@aarstiderne.com)



Søren Ejlersen er kok og medstifter af Aarstiderne A/S. [se@aarstiderne.com](mailto:se@aarstiderne.com)



Ole G. Mouritsen er dr.scient. og professor emeritus i gastrofysik ved Institut for Fødevarer videnskab på Københavns Universitet. Han har ingen kommercielle interesser i Aarstiderne A/S. [ole.mouritsen@food.ku.dk](mailto:ole.mouritsen@food.ku.dk)



**Går det fremad med at omstille sig til en mere grøn kost i de danske køkkener? Vi har fundet et svar ved at analysere et stort markedsdrevet datamateriale baseret på måltidskasser.**

**V**i har vidst det i lang tid: Vi skal spise mere grønt og mindre kød for vores sundheds skyld.

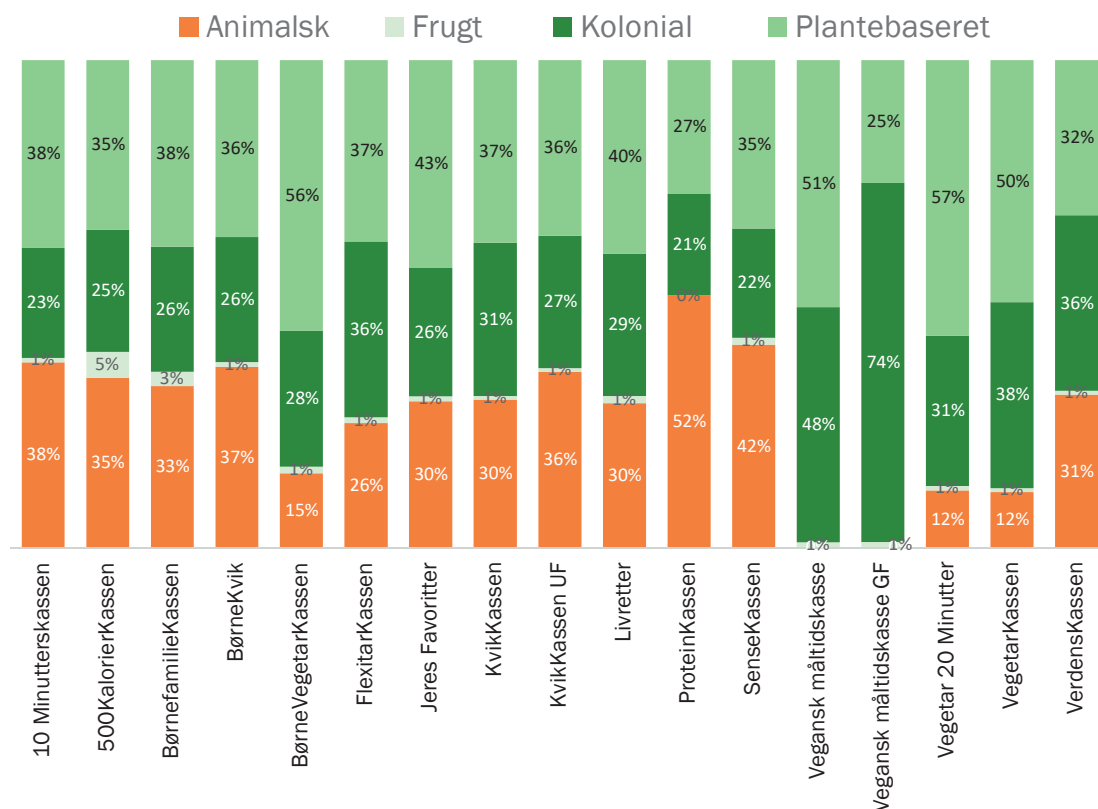
Men vi gør det ikke, og aldrig har menneskeheden været plaget af så mange kostbetingede sygdomme som nu. Vi ved nu også, at vi skal spise mere plantebaseret mad, fordi det er mere bæredygtigt og bedre for planetens sundhed og for klimaet. De nye danske, officielle kostråd fra januar 2021 er ovenikøbet formuleret i denne ramme, og rådene er naturligvis

blevet omtalt som klimakostråd. Spørgsmålet er så, om vi kommer til at ændre vores kostvaner for klimaets skyld.

Menneskers forhold til mad er kompliceret, og vores mad- og smagspræferencer er præget ikke alene af madens objektive, fysiologiske smagsindtryk, men også vaner, tradition, kultur, etnicitet, social kontekst, mm. Vi ændrer kostvaner meget langsomt. Det tog danskerne tredive år at lære at spise pizza og drikke vin. Som en traditionelt

kødspisende befolkning står vi over for en formidabel udfordring, når vi skal lære at spise en langt mere plantebaseret kost, mens vi samtidig skal skære to tredjedele ned på kødet, især det røde kød. Men der er ingen vej uden om 500-600 gram grønt og frugt om dagen, hvis vi skal følge anbefalingerne i *EAT Lancet Commission Report on Healthy Diets from Sustainable Food Systems* (2019), de danske kostråd (2021) og Klimarådets rapport *Klimamavenlig mad og forbrugeradfærd* (2021).





Energisammensætning af måltidskasserne fra Aarstiderne opdelt på fire hovedgrupper: animalske kilder, frugt, kolonialvarer og plantebaserede kilder. Som kolonialvarer indregnes mel, korn, havregryn, quinoa, ris, brød, oliven, dadler, honning, miso, kokosmælk, nødder, kerner, frø, tørrede bælgrugter, mm.

Store organisationer som COOP og Landbrug & Fødevarer foretager løbende spørgeskemaundersøgelser om befolkningens kostvaner, ligesom der i december 2021 udkom en større europæisk undersøgelse om forbrugeradfærd- og holdninger. Generelt viser disse undersøgelser, at folk ønsker at spise flere grøntsager og skære ned på kødet, og at mange mener, at de rent faktisk gør det.

Men spørgsmålet er: Sker der noget, og hvor hurtigt går det med den grønne omstilling? Én ting er, hvad folk fortæller i spørgeskemaundersøgelser; en anden er, hvad folk rent faktisk spiser. Man kan dog sige én ting med sikkerhed: Ingen fødevarer kan betragtes som sunde, nærende eller bæredygtige, medmindre de bliver spist. Og det er her, smagen kommer ind. Vi spiser ikke noget i længden, medmindre vi kan lide smagen af maden og tillader den at komme ind i munden og ned i maven.

### Erfaringer fra 1,5 millioner måltidskasser

Vi har for en seksårig periode med kvantitative metoder undersøgt, hvad et udsnit af den danske befolkning rent faktisk spiser til aftensmad ved brug af et massivt datamateriale for salget af måltidskasser. Aarstiderne A/S, som er det største danske firma inden for denne voksende branche, leverer årligt 1,5 millioner måltidskasser til danskerne, svarende til ugentligt 30.000 familier, der får råvarerne med opskrifter leveret direkte til døren. Da disse data er drevet af en markeds mekanisme, kan vi antage, at maden i kasserne faktisk bliver spist. Det er dermed

muligt at beregne forholdet mellem forbrugernes energiindtag, som skyldes henholdsvis plantebaserede og animalske råvarer. Desuden er det muligt at beregne klimaaftrykket i form af såkaldte CO<sub>2</sub>-ækvivalenter. Energiindhold og CO<sub>2</sub>-aftryk kan bestemmes ved brug af de efterhånden omfattende internationale og danske databaser (for eksempel *Frida: Database med fødevarerdata*, 2021; *CONCITO: Den store klimadatabase*, 2021). Endelig kan vi ved analyse af opskrifterne, der følger med måltidskasserne, afdække, hvilke smage de markedsdrevne kræfter bag måltidskasserne opererer på basis af.

#### Hvad spiser du?

*Omnivor*: du spiser alt

*Vegetar*: du spiser ikke kød og fisk, men dog mælkeprodukter og æg

*Flexitar*: du spiser overvejende plantebaseret kost, men også små mængder af animalske produkter

*Pescetar*: du er vegetar, men kan supplere kosten med fisk og skaldyr

*Veganer*: du spiser ikke animalske produkter



## Måltidskassernes sammensætning

Aarstiderne distribuerer en vifte af 17 forskelligt sammensatte måltidskasser. Udbuddet af kasserne og deres sammensætning af råvarer varierer afhængigt af markedet, men er samtidig underlagt en fra virksomheden overordnet målsætning om at øge det plantebaserede energiindhold i kasserne. Kasserne spænder fra rent veganske og vegetariske kasser med næsten 100 % plantebaseret indhold til kasser med omkring 40 % animalske råvarer.

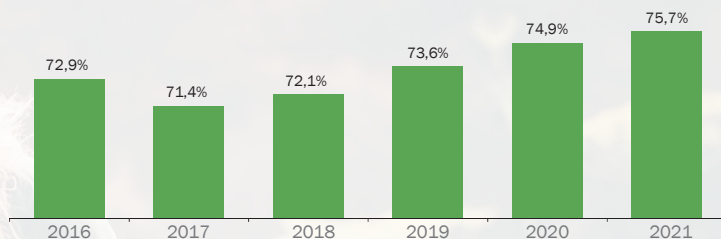
Ser man på energisammensætningen, får forbrugerne af kasserne i deres aftenmåltid et energiindhold fra plantebaserede kilder (helt overvejende grøntsager), der varierer fra 25 % til 55 % af det totale energiindtag.

De fleste forbrugere får 20-30% af energien fra kolonialvarer (det vil sige produkter som mel, korn, havregryn, quinoa, ris, brød mv.), og denne andel vokser i takt med, at det plantebaserede indhold vokser i måltidskasserne. Således får flexitarer og pescetarer omkring 30 % af energien fra kolonialvarer, hvorimod veganeres andel er over 50 %. Det betyder derfor, at når forbrugerne vælger mere plantebaserede måltidskasser, får de en voksende del af energien fra kolonialvarer (og i en vis udstrækning fra svampe- og rødbedebøffer) og ikke fra de grøntsager, som typisk erstatter kødet.

## Smagen driver den grønne omstilling

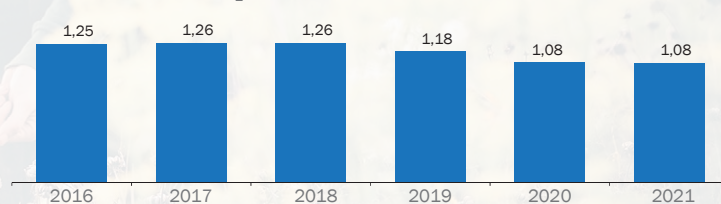
Udviklingen af det procentiske plantebaserede energiindhold i måltidskasserne viser over en seksårig periode fra 2016-2021 en klar udvikling mod en voksende andel af energiindtaget fra plantebaserede ingredienser – fra et gennemsnitligt indhold i alle måltidskasser på 72,9 % i 2016 til 75,7 % i 2021. I takt med væksten af det procentiske plantebaserede energiindhold er klimaafttrykket fra måltidskasserne aftaget.

Plantebaseret energiindhold



Den gennemsnitlige tidlige variation af det plantebaserede energiindhold i alle måltidskasser fra Aarstiderne vægtes i forhold til salgsvolumen. De viste tal hviler på et solidt statistisk materiale bestående af 687.000 årlige måltidskasser i 2016 til omkring 1.500.000 i 2021. Den svage nedgang i 2017 tillægges introduktion af en særlig Børnefamiliekasse henvendt til familier med små børn, da børnefamilierne gerne vil have flere æg og mejeriprodukter på grund af "sovseeffekten". Den særligt store tilvækst i 2019 tilordnes et voksende salg af vegetariske måltidskasser (Vegetakassen) og et svindende salg af den hurtige måltidskasse (Kvikkassen).

CO<sub>2</sub>-emission (kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter)



Variation i perioden 2016-2021 af CO<sub>2</sub>-emission per gennemsnitlig kuvert beregnet på baggrund af samtlige måltidskasser distribueret af Aarstiderne vægtes i forhold til salgsvolumen. Mindre usikkerhedskilder på disse data omfatter forbrugernes anvendelse af ingredienser, som ikke er indeholdt i kasserne, for eksempel olier og fedtstoffer, som kan være af forskellig oprindelse. Det lidt større fald i 2020 skyldes især vækst i salget af vegetariske måltidskasser.



Spørgsmålet er nu, om der er noget særligt ved sammensætningen af Aarstidernes måltidskasser og de tilhørende opskrifter til madlavningen, som kan forklare den positive udvikling mod en større planteandel. Det fremhæves tit, at grunden til, at det er svært at spise mere plantebaseret mad, er, at det ikke smager godt nok, og at vi mennesker har præferencer for kød. For at forstå, hvad der er på spil her, er det vigtigt at skelne mellem smags- og madpræferencer (den hedoniske smag), som i høj grad er kulturelt og traditionsmæssigt bestemt, og selve smagen af maden (den fysiologiske smag).

Mennesker eftertragter især mad, som er sød og har umami-smag, hvilket skyldes vores evolutionshistorie, og det gælder uafhængigt af kultur og traditioner. På den anden side er det netop de to grundsmage, som planter almindeligvis mangler (når vi ser bort fra modne frugter). Det skyldes især, at de søde sukre i planterne er bundet i kulhydrater, og de umami-smagende aminosyrer er bundet i proteiner. Hverken kulhydrater eller proteiner har nogen smag. Derimod har kød fra muskler meget umami-smag. Hvis vi skal gøre os forhåbninger om at spise mere plantebaseret kost, må vi forholde os til denne problemstilling.

Løsningen ligger lige for: At tilføre det grønne den sødme og umami, som det fra naturens side mangler. Det sker nemmest ved at låne lidt fra dyreriget, som har masser af umami. Hvis man er veganer, er det noget vanskeligere, men mange svampe kan bidrage med umami-smag. Endelig foreligger der muligheden af at fermentere det grønne for at frembringe umami-smag og sødme.

### Umami og sødme i måltidskasserne

Med udgangspunkt i hypotesen om, at den grønne omstilling af vores mad må tage udgangspunkt i smagen, har vi analyseret ingredienser og opskrifter i måltidskasserne fra

## Hvad kan vi lide?

De kulturelt bestemte mad- og smagspræferencer er længe om at omstille sig, og vi taler måske om årtier. Vores præference for to af de fem grundsmage, sød og umami, er imidlertid kodet i vores gener gennem evolutionen, og alle mennesker eftertragter mad med disse smage. Det skyldes, at sød og umami-smagende mad har været godt for vores arts mulighed for overlevelse og udvikling. Sød signalerer sukre, som giver kalorier og dermed energi. Umami signalerer lettilgængelige proteiner (i form af aminosyrer og små peptider), hvilket giver både energi og råstof til at bygge muskler. Præferencen for sød har fulgt os og vores tidligere forfædre i millioner af år, og vi har fået vores forkærlighed for sødme stimuleret af modne frugter. Præferencen for umami skyldes, at vi har været kødspisere i mindst to millioner år, og især efter vi begyndte at bruge ilden til at tilberede vores mad for 1,9 millioner år siden. Umami (også kaldet kødsmag) får vi især fra dyr, som har muskler, der både indeholder umami-smagende aminosyrer (glutamat) og umami-smagende nedbrydningsprodukter (nukleotider) fra det energistof (ATP), som driver musklerne.

Problemet med at spise plantebaseret mad opstår derved, at planterne (bortset fra deres modne frugter) kun sjældent har sødme og umami. Vi er derfor oppe mod nogle fundamentale forhold, når vi konfronteres med den grønne omstilling af vores fødevarevalg. Planterne mangler netop de to grundsmage, som vi evolutionært er præget til at eftertrakte. Men der er en løsning, og den består i at tilføre den plantebaserede mad de smage, som den "mangler", eller udløse planternes indbyggede potentiale til selv at smage sødt og umami ved at nedbryde deres kulhydrater og proteiner i henholdsvis sukre og aminosyrer. Dette foregår nemmest ved fermentering.

Aarstiderne. Vi har haft hovedfokus på umami og sødme, men også på kokumi, som er et japansk udtryk for den smagsforstærkning af sød og umami, som særlige fødevareemner som hvidløg, ost og fermenterede saucer kan give i form af mundfylde, smagskontinuitet og lang eftersmag. Det er også vores hypotese, at det er ikke kød som sådan, vi evolutionært er præget til at eftertrakte, men smagen kød, det vil sige umami. Hvis denne umami-smag er fraværende i en grøn ret, vil denne mangel typisk blive fortolket som en mangel på kød og medføre en reduceret mætheds- og tilfredshedsfølelse. På den anden side, hvis den grønne ret har god umami-smag, vil den spisende ikke føle, at der eventuelt mangler kød.

Analysen viser, at stort set alle opskrifter, der ledsager måltidskasserne omtalt i denne artikel,

og som jo i en vis udstrækning er drevet ved en kombination af opskriftudviklernes og kokkenes indsats og viden på den ene side og forbrugernes markedsdrevne reaktion på udbuddet af måltidskasser og opskrifter på den anden side, indeholder væsentlige elementer af umami, kokumi og sødme. Der er derfor grund til at antage, at en mulig grund til succesen med en voksende planteandel i måltidskasserne skyldes et vist fokus på smag. Det er selvfølgelig indlysende, at andre "smagsindtryk" via krydderiernes aromaer og eventuelt brændende smage har stor indflydelse, ligesom en vis harmoni i det samlede smags- og teksturudtryk af retterne spiller en stor rolle. Det er imidlertid vigtigt at fremhæve, at hverken krydderier eller stærkt smagende elementer som chili, sort peber, ingefær osv. kan bidrage til umami-smag.

**Undervisningsmateriale:**  
Beregn selv energiindhold og klimaafttryk af en ret.  
Du kan finde et arbejdsark til denne artikel på [Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside](#).

**Yderligere læsning**  
*Smart Protein: What consumers want: a survey on European consumer attitudes towards plant-based foods with a focus on flexitarians.* EU-projekt (2021).  
*Progression towards an 80:20 (plant-based:-animal-based) energy balance via specially designed Meal Kits* (S. Daverkosen, S. Ejlersen, and O. G. Mouritsen) *International Journal of Food Design*, in press (2022).  
Tag smagen med på råd: om kostråd og den grønne omstilling (O. G. Mouritsen and K. Styrbæk) *SMAG* 13, 1-152 (2021).

Design and 'umamification' of vegetables for sustainable eating (O. G. Mouritsen and K. Styrbæk) *International Journal of Food Design* 5, 9-42 (2020).  
*Grønt med umami og velsmag: Håndværk, viden & opskrifter* (K. Styrbæk and O. G. Mouritsen) Gyldendal, København (2020).  
Opskrift på at spise mere grønt: tilsæt naturvidenskab (O. G. Mouritsen) *Aktuel Naturvidenskab* 5, 18-22 (2019).

## De fem grundsmage

- Sød:** fx husholdningssukker (sukrose) og honning  
**Sur:** fx citronsaft og eddike  
**Salt:** fx køkkensalt (NaCl)  
**Bitter:** fx kaffe, valnødder og humle  
**Umami:** fx svampe, kød, fisk og skaldyr, fermenterede produkter (moden ost, sojasauce, fiskesauce), solmodne tomater

## Kokumi

Kokumi er ikke en grundsmag, men en såkaldt smagsattribut, og betyder noget i retning af kontinuitet, mundfylde og lang eftersmag. Kokumi forstærker smagen af sød og umami og svækker smagsoplevelsen af bitter, alt sammen noget, som er godt til at give velsmag til grønt. Kokumi forbindes normalt med fødevarer af animalsk oprindelse, særligt kammuslinger, fiskesauce, fermenterede rejer og visse oste. Men fermenterede bønner i form af sojasauce tillægges også kokumi, ligesom ekstrakter af hvidløg fremkalder kokumi sammen med andre fødevarer. Visse svampe, især karljohan, har også kokumi. Det interessante ved kokumi er, at de stoffer (visse di- og tripeptider), som frembringer kokumi, i sig selv ingen smag har, men virker som smagsforstærkere.

| Grundsmage i måltidskasserne |                                                                                                                                                                          |                                            |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Måltidskasse                 | Umami/kokumi                                                                                                                                                             | Sød                                        |
| Med kød                      | Fisk, fiskesauce, hoisinsauce, hvidløg, kartofler, kylling, løg, miso, oksekød, sesamfrø, sojasauce, skinke (modnet), svampe, svinekød, tomater                          | Cherrytomater, gulerødder, honning, sukker |
| Vegetarisk                   | Asparges, cheddar, fiskesauce, hvidløg, majs, æg, Gouda-ost, hoisinsauce, kartofler, løg, mayo, sesamfrø, svampe, risvineddike, sojasauce, tang, teriyaki-sauce, tomater | Honning, pærer, sukker, tomater, æbler     |
| Vegansk                      | Mandler, majs, hvidløg, kartofler, løg, miso, sesamfrø, svampe, tahini, tomater                                                                                          | Honning, pærer, sukker, tomater, æbler     |

### Danmark som helhed

Data fremlagt i denne artikel viser en gennemsnitlig årlig fremgang i den procentvis andel af den plantebaserede energi på lidt under 1%-point for aftensmåltidet for de forbrugere, som har valgt måltidskasserne. Der findes ikke et tilsvarende estimat for den samlede danske befolkning med hensyn til energiindhold, men CO-OP's analyser viser cirka 0,8% årlig fremgang i salget af grøntsager og frugt siden 2014 og omtrent en tilsvarende nedgang i salget af kød

for landet som helhed. Her findes ikke tilsvarende energiberegninger. For at vurdere disse tal skal det bemærkes, at de forbrugere, som har valgt måltidskasserne fra Aarstiderne, starter i 2016 på et relativt højt niveau, over 70%, hvorimod det for Danmark som helhed vurderes at være på cirka 60 %. Det er altså en særlig gruppe af forbrugere, som vælger måltidskasser. Det må forventes, at det progressivt bliver noget sværere at øge andelen af den plantebaserede energi, jo højere plantdelen er.

Danskernes forbrug af kød på 52 kilo om året er over gennemsnittet i Europa og omkring dobbelt så stort som verdensgennemsnittet. Vi spiser cirka 142 gram kød om dagen per indbygger. Til sammenligning er kødindholdet i Aarstidernes "almindelige" måltidskasser typisk 100 gram per kuvert. Vi har altså langt igen for at komme nær kostrådenes anbefalinger på cirka 37 gram per kuvert og et energiindhold for den plantebaserede del af kosten på 84 %.

Der tegner sig imidlertid et interessant billede, hvis man sammenholder energibalancen i sammenlignelige opskrifter på konventionelle vs måltidskassernes for en lang række populære retter, for eksempel spaghetti bolognese og risotto med kylling og svampe. Med en 30 % lavere kødration og fokus på grøntsagerne i måltidskasserne, bliver klimaafttryk på den samme type ret 30 % lavere end fra de konventionelle opskrifter uden at gå på kompromis med smagen. Og hvis man tager hele skridtet til en vegetarkasse, bliver forbruget af både animalsk energi og klimaafttryk reduceret til 1/3 af de konventionelle opskrifter.

### Mulighed for forbedringer

Resultaterne fremlagt i denne artikel, som er baseret på et massivt datamateriale, dokumenterer, at det faktisk er muligt at øge andelen af vores plantebaserede kost, og at en nøgle hertil kan være en kombination af 1) den hjælp, at måltidsløsningen bliver leveret direkte til forbrugerne, 2) en målrettet indsats på at øge energiindholdet i den plantebaserede del af kosten, og 3) at der i opskrifterne på retterne er skelet til, at der skal være sødme og umami i maden. Analysen af smagelementerne i opskrifterne antyder også, at man ved et endnu mere målrettet fokus på smagen, især umami (for eksempel ved mere udstrakt brug af svampe, alger og fermenterede tilbehør) formodentlig kunne skubbe yderligere på den grønne omstilling. ■





KØBENHAVNS  
UNIVERSITET



# Matematik, datalogi eller ..?

På Københavns Universitet kan du søge ind på mange naturvidenskabelige uddannelser. Heldigvis kan du få masser af hjælp til at vælge.

På **[science.ku.dk/ba](https://science.ku.dk/ba)** kan du læse alt om uddannelserne og fx tage et **uddannelsestjek** på dem, du hælder mest til. Adgangskrav, ansøgning og særlig støtte kan du få hjælp til hos vejlederne i **KU Studentercenter**. De kan også hjælpe med at prioritere uddannelser, eller hvis du er generelt i tvivl om dit studievalg.

**Ansøgningsfrist 5. juli.**

*[science.ku.dk/ba](https://science.ku.dk/ba)*

Saltvandsplanten kveller i starten af efteråret. Kveller skifter farve fra mørkegrøn til rød i efteråret, hvorefter den i slutningen af efteråret tørrer helt ud og smider frø. Foto: Malthes Fredsgaard



#### Om forfatterne



Malthes Fredsgaard er ph.d.-studerende. Han forsker i at ekstrahere og isolere bioaktive stoffer fra kveller på AAU Esbjerg. [mfre@energy.aau.dk](mailto:mfre@energy.aau.dk)



Mette Hedegaard Thomsen er lektor og leder af en forskningsgruppe, der forsker i bioraffinaderi af saltvandsplanter, lav-værdi overskudsbiomasser, bæredygtig mikrobiel produktion af hydrogen og bæredygtig produktion af bioenergi. [mht@energy.aau.dk](mailto:mht@energy.aau.dk)

Begge ved AAU Energy, Aalborg Universitet.

# KVELLER

## – En plante til folkesundhed og grøn energi

**Den saltelskende plante kveller rummer et stort potentiale til brug i både sundhedsfremmende og bæredygtige produkter – lige fra planteekstrakter, der forebygger sygdom, til jet-brændstof. Alt dette med minimal CO<sub>2</sub>-udledning og uden brug af giftige kemikalier og dyre opløsningsmidler.**

**C**licheen på en heks eller en vis kone kan være en kvinde, der står og rører i sin gryde med mystiske ingredienser. Så langt holder billedet, at mennesker i århundreder har lavet særlige ekstrakter af vilde urter og planter – og faktisk kan disse sagtens have virket, hvis meningen med dem var at forebygge eller helbrede sygdomme. For vilde planter i kosten betyder mere for helbredet end man skulle tro.

Eksempelvis kan blomsten solhat bruges mod lungebetændelse, skvalderkål mod gigt, nellike mod feber, og saltplanten kveller kan hjælpe mod gigtsmerter og mange inflammatoriske sygdomme. Så måske den vise kone havde fat i noget.

I dag udnytter vi mange forskellige planter til mange forskellige formål. Men det er ikke altid, at det foregår på en særlig bæredygtig måde i den forstand, at kun en

lille del af planten bliver udnyttet, mens resten kasseres. Derfor er det ud fra en bæredygtighedstankegang interessant at se på planter med den bagtanke, at alle dele skal bruges – en tilgang kaldet bioraffinering. Det kan foregå ved, at man adskiller planten i proteiner, sukke, fibre, fedtstoffer og bioaktive stoffer, som hver især kan indgå i andre produkter. Planten kveller er en god kandidat til at blive udnyttet på denne måde.



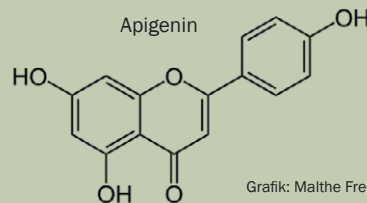
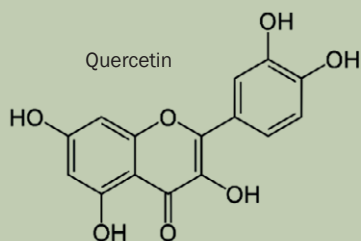
## Planternes egne forsvarsmekanismer

Hvis man går en tur ved Vadehavet i Danmark, kan man mellem muslingeskaller, krabber og marehalm finde planten kveller i et miljø, som ingen landmand kunne finde på at dyrke planter i. Kveller bliver i naturen oversvømmet med havvand to gange om dagen – noget langt de fleste landbrugsafgrøder ikke kan tåle. Kveller udmærker sig ved at indeholde en høj koncentration af en gruppe stoffer, man hidtil ikke har udnyttet, nemlig fenolstoffer. I laboratorieforsøg har disse vist sig at have antioxidante, antiinflammatoriske, anticancer og probiotiske egenskaber. Derved kan denne plantestofgruppe muligvis forebygge diverse livsstilssygdomme. Fenolstoffer findes i mange tusinde forskellige former, og en stor del af den bioaktivitet, der er dokumenteret fra planter, skyldes fenolstoffer. Bioaktive stoffer er en fællesbetegnelse for stoffer, der har en effekt, ofte positiv effekt, på biologiske systemer – herunder menneskekroppen. Mange af disse fenolstoffer er så komplekse, at de ikke kan fremstilles syntetisk eller gennem fermentering, som er en kendt metode til billigt at fremstille forskellige medicinske stoffer.

Gennem vores forskning har vi opdaget, at hvis man behandler planterne kemisk ved bestemte pH-værdier, temperatur og tryk, kan man åbne planten op og få

## Fakta om kveller

- Kveller er en enårig sukkulent-urt tilpasset miljøet med megen sol og meget salt
- Kveller gror i hele verden ved kystområder og bliver brugt i Korea som folkemedicin
- I Danmark findes Kveller udbredt langs kysterne – blandt andet i Vadehavet, hvor den to gange om dagen bliver oversvømmet af saltvand
- Kveller er en velsmagende urt, der bruges meget i det franske køkken
- Grundet det høje indhold af salt kan kveller let fermenteres og konserveres
- Flyselskabet Etihad Airways formåede i 2019 at flyve på flybrændstof, hvoraf en lille del var lavet af kveller, og gjorde dermed CO<sub>2</sub>-udledningen signifikant lavere

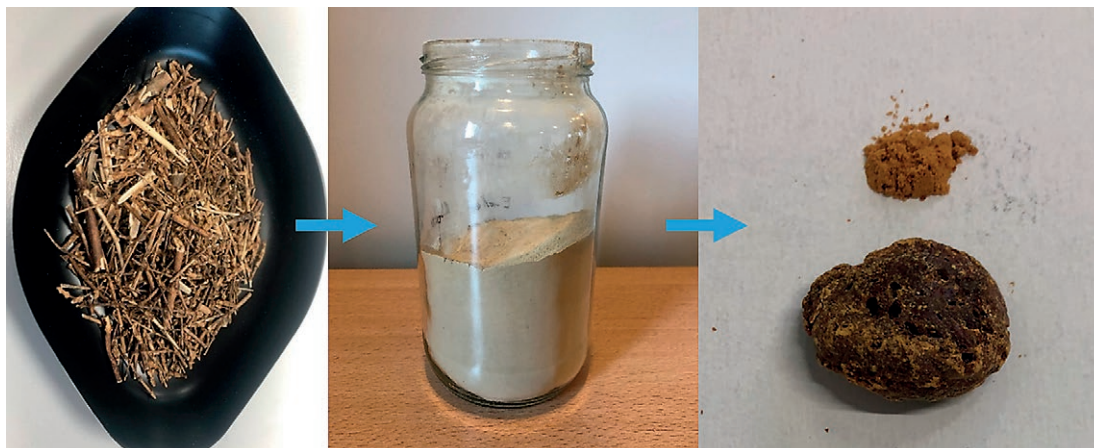


Grafik: Malthes Fredsgaard

En undergruppe af plantestoffer kaldes flavonoider – også kendt som Vitamin P, selvom de teknisk set ikke er vitaminer. Flavonoider findes udelukkende i biomasse, blandt andet i høj koncentration i planter med betegnelsen superfoods. Eksempler på superfoods, der indeholder stor koncentration af fenolstoffer, er de fleste bær, kål, mørk chokolade, rødvin, løg, persille og grøn te. Figuren viser to eksempler på flavonoider – Quercetin (tv) og Apigenin (th).

fenolstofferne ud. Dette øger koncentrationen af fenolstoffer, så en lille mængde på 3 gram fenol-koncentrat svarer til at spise 600 gram grøntsager, som er den mængde sundhedsstyrelsen anbefaler, at vi spiser dagligt (hvilket mange af os ikke gør!). Vi arbejder i øjeblikket på at gøre denne fraktion endnu mere koncentreret. Det er dog vigtigt at understrege, at fenol-kon-

centrat fra kveller ikke kan erstatte grøntsager. Der findes for eksempel mange forskellige fenolstoffer i forskellige planter, så derfor er det stadig vigtigt at spise varieret og vide, at man ikke bare kan spise sig sund i vitaminer og kosttilskud. Kroppen er en kompleks maskine, der skal bruge komplekst brændstof for at fungere ordentligt og sundt.



Saltvandsplanter kveller kan forarbejdes kemisk, så bioaktive stoffer kan ekstraheres fra planten. Denne metode, der bl.a. indebærer brug af ufarlige opløsningsmidler, syrer, membranfiltreringer samt væske-væske ekstraktioner, kan resultere i en koncentration af isolerede antioxidante plantestoffer 20.000-25.000 % højere end i selve planten. Fotos: Malthes Fredsgaard



Kveller kan fermenteres uden ekstra tilsat salt, som det ofte kræves ved fermentering med mælkesyrebakterier. Efter en fermentering på industriel skala kan proteiner separeres fra væsken, tørres, og sælges som probiotisk dyrefoder. På billedet ses den probiotiske traditionelle tyske ret, Saurkraut.

Foto: Colourbox

### Flere mennesker og mindre jord

Hvert år bliver et landbrugsareal på størrelse med Portugal for salt til at kunne gro almindelige agrøder på. Arealet i Europa, der allerede nu er for salt eller i nær fremtid vil blive for salt, svarer til det dobbelte areal af Tyskland. Med denne hastighed vil Danmark hvert år miste frugtbar jord svarende til et areal på størrelse med Københavns kommune. Salt ophobes på marker som resultat af blandt andet saltning af veje, men også af regnfald og kunstvanding, som begge indeholder små mængder af salt. Denne salt ophobes i jorden ved hjælp af en proces, der kaldes kapillarvirkning, hvor det opløste salt bringes til overfladen af jorden. Fordi de fleste planter ikke kan optage saltet, sker der derfor en ophobning af salt, og det kan langsomt nedlægge et lands landbrug.

Der findes få måder at fjerne salt effektivt fra marker, og den billigste og mest bæredygtige måde er ved hjælp af planter, der har den egenskab, at de kan opsamle forureninger fra jorden (man kalder denne tilgang bioremediering). Disse forureninger kan for eksempel være salt, tungmetaller eller olie

fra olieudslip. Kveller har bioremedieringsegenskaber, da det er en plante, der har brug for salt for at kunne overleve – derved er kveller klassificeret som en halofyt. Halofyt kommer fra det græske halo (salt) og phyto (plante). Ved at plante kveller på saltpåvirkede marker kan hver plante optage omkring 17 % af plantens tørstofvægt i salt og mineraler. Dette er 102 gange så meget som bøgetræer, 42 gange så meget som hvede og 3,5 gange så



Saltpåvirkede marker har samme bevågenhed som for eksempel global opvarmning, men det er et stort problem verden over, som det er nødvendigt at adressere. Problemet er særligt stort i Asien, hvor verdens største saltpåvirkede sletter findes, og hvor befolkningstallet samtidig er stigende. Foto: Colourbox

meget som majs. Med den stigende verdensbefolkning er der derfor et stort behov for at fjerne salt fra markerne, og det kan gøres ved at plante kveller.

### Kveller mod antibiotikaresistens

Verdenssundhedsorganisationen (WHO) har estimeret, at der fra år 2050 hvert år vil være 10 millioner dødsfald på grund af antibiotikaresistens på verdensplan. I dag er der 700.000 dødsfald per år. Det vil altså gøre antibiotikaresistens til den mest hyppige dødsårsag – endda hyppigere end cancer. For at sætte det i perspektiv, vil en simpel forkølelse kunne blive til en lungebetændelse, der i sidste ende vil kunne ende i et dødsfald. Problemet med antibiotikaresistens skyldes et overforbrug af antibiotika til behandling af ikke-livstruende sygdomme i mennesker og husdyr, hvor der for eksempel i Danmark tilsættes unødvendigt store mængder antibiotika til svinefoder og til fiskeopdræt.

Gennem fermentering af fødevarer kan man i stedet introducere probiotiske bakterier i kosten og på den måde forebygge bakterieinfektioner. Et eksempel på fermenteret mad er sauerkraut, som fremstilles ved at kvase kål med en stor mængde salt og derefter lade det stå i en uge. Det salte miljø vil sørge for, at det kun er nogle bestemte nyttige bakterier, der kan få adgang til kålen, for eksempel mælkesyrebakterien *Lactobacillus*, som også findes i det syrnede mælkeprodukt A38 fra Arla.

Også i denne sammenhæng har kveller stort potentiale. Hvis den friske kveller juices, ligesom man juicer æbler eller appelsiner, kan man tilføje mælkesyrebakterier til juice og for eksempel bruge den som probiotisk foder til grise i stedet for at tilsætte store mængder antibiotika. Forsøg med brug af kveller har allerede vist lavere dødelighed blandt fisk, når de fodres med planten, netop fordi de sunde plantestoffer i kveller øger den probiotiske virkning af foderet.





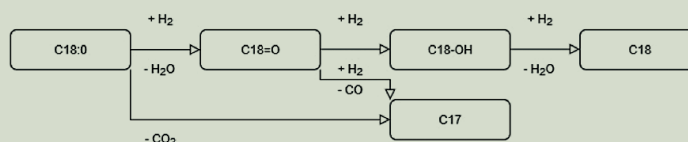
Et bioraffinaderi baseret på processering af kveller vil kunne ekstrahere bioaktive stoffer til medicin eller kosttilskud, lave foder til landbrugsdyr, benzin, flybrændstof, diesel og gas til afbrænding, alt sammen med en lille CO<sub>2</sub>-udledning. Nøglen bag et godt bioraffinaderi er produktionen af flere produkter. Bioraffinaderiet på billedet fremstiller biodiesel og glycerol. Foto: Colourbox

## Flyv på kveller

Hvis kveller bliver presset til juice og pulp, og de bioaktive stoffer ekstraheres, er der et restprodukt tilbage. Dette restprodukt er næsten udelukkende fibre. Fibre er på molekylniveau sammenflettede sukkerstoffer, men fibre kan ikke optages i menneskekroppen. Ved en lang proces, der involverer ekstraktion med opløsningsmidler, behandling af biomassen med syrer, enzymer, fermentering og en masse brint, kan det teoretisk lade sig gøre at lave flybrændstof ud af planter. Dog mangler der ét mellemtrin – at lave sukkerstofferne i fibre om til fedt. Fedt, også kaldet triglycerider, ligner molekyler kaldet alkaner, som er det, benzin, flybrændstof og diesel består af.

Derfor har vi eksperimenteret med at fodre fibre til fluelarver, alger og mugsvampe for derefter at undersøge potentialet i at lave CO<sub>2</sub>-reduceret flybrændstof af larve/mikroorganisme-fedt. Denne proces lyder måske mere gal end genial, men ved CO<sub>2</sub>-beregninger og økonomiske beregninger har vi bevist, at

## Produktion af alkaner



Fedt og olier (triglycerider) kan reagere med brint ved høje temperaturer og tryk og derved lave kemikalier, der er identiske med dem, man finder i benzin, diesel og flybrændstof kaldet alkaner. Figuren viser et reaktionsdiagram over produktion af alkaner med kulstoflængden 17 og 18 fra en mættet fedtsyre (stearinsyre) med kulstoflængden 18. Stearinsyre (C18:0) smider et CO<sub>2</sub>-molekyle og bliver til en alkan med kulstoflængden 17, eller reagerer med brint og producerer octadecanal (C18=O). C18=O reagerer med brint og producerer en alkan med kulstoflængden 17 eller octadecanol (C18-OH). C18-OH reagerer med brint og producerer slutproduktet, en alkan med kulstoflængden 18. Den viste proces kaldes hydrodeoxygenation.

denne type brændstof reducerer CO<sub>2</sub>-udledning med op til 95,5 % i forhold til almindeligt flybrændstof. Det brændstof, der vil kunne blive produceret på denne måde, er på molekylniveau identisk med almindeligt flybrændstof, dog bare produceret bæredygtigt. Et procesanlæg vil kunne tjene sig selv hjem efter

7 år og producere 20,5 kg flydende brændstof per ton biomasse. Denne mængde er dog ikke stor nok til at kunne have en effekt på den overordnede mængde brændstof, der bruges på verdensplan, men andre typer af biomasse vil kunne iblandes foderet til fluelarverne for at få højere kapacitet. ■

**Ekstra læsning:**  
M. Fredsgaard, L. S. S. Hulkko, T. Chaturvedi, and M. H. Thomsen, "Process simulation and techno-economic assessment of Salicornia sp. based jet fuel refinery through *Hermetia illucens* sugars-to-lipids conversion and HEFA route," *Biomass and Bioenergy*, vol. 150, p. 106142, Jul. 2021.

Giordano et al., "Pharmacological Insights into Halophyte Bioactive Extract Action on Anti-Inflammatory, Pain Relief and Antibiotics-Type Mechanisms", *Molecules*, vol. 26, p. 3140, May 2021

Giordano et al., "Effects of Salicornia-Based Skin Cream Application on Healthy Humans' Experimental Model of Pain and Itching", *Pharmaceuticals*, vol. 15, p. 150, January 2022

bioenergyinternational.com/biofuels-oils/etihad-airways-flies-the-worlds-first-flight-on-salicornia-derived-fuel-from-the-uae

jv.dk/artikel/vadehavsplanter-kan-blive-esbjergs-nye-guldgrube.



# DYBHAVETS VÆRDIFULDE MANGANKNOLDE

Manganknolde ligger spredt på den 4 km dybe havbund i det østlige Stillehav. Foto: ROV-Team/GEOMAR (CC BY 4.0)

## Om forfatteren



Julia M. Otte er uddannet i biovidenskab og geovidenskab ved universitetet i Heidelberg, universitetet i Freiburg og universitetet i Tübingen (Tyskland) med speciale i molekylærbiologi og mikrobiologi. Som postdoc i Max Planck Institutet og Alfred Wegener Institutet (Bremen, Tyskland) har hun forsket i virkningerne af dybhavsminedrift på dybhavsmikroorganismer i Stillehavet.

Siden marts 2021 har Julia været ansat som postdoc ved Center for Elektromikrobiologi ved Aarhus Universitet, hvor hun arbejder med sørestaurering og slamfjernelse ved hjælp af elektrogene bakterier.

Som fremtidig Marie Curie Stipendiat vil Julia på Aarhus Universitet arbejde med at opnå en bedre forståelse af dannelsen af drivhuseffekten  $N_2O$ .

juliao@bio.au.dk

**På havbunden i dybhavet findes vidtstrakte områder oversået med kartoffelstore knolde, som er rige på værdifulde metaller. Der er store kommercielle interesser i at høste disse manganknolde, som de kaldes, men hermed risikerer vi også at ødelægge et unikt levested for dybhavsorganismer, som vi endnu ved meget lidt om.**

**D**ybhavet har fascineret mennesket siden de tidlige odysseer over havene, og mange myter er blevet fortalt om havets dybder. Søfarende har berettet om mystiske væsner som havruer og søslanger, som forskningstogter i moderne tid ikke just har kunnet bekræfte eksistensen af. Men det er nu ikke fordi, dybhavet ikke rummer mange fantastiske beboere – dybhavsdjævel, dybhavsagurk, zombieorm, dragefisk og kikkertfisk er blot nogle få eksempler.

Dybhavet er et meget anderledes sted, fyldt med mærkelige livsformer. Men hvor meget ved vi egentlig om, hvad der er dernede? Ikke særlig meget! Cirka 95% af oceanerne er stadig uudforsket, hvoraf størstedelen er dybhav. Det kan lyde paradoksalt, at vi ved

mere om månen end om det dybe hav på vores planet.

Grænsen til dybhavet sættes typisk ved 1000 meter, hvor det uendelige mørke starter, fordi stort set intet lys når ned på denne dybde. Herne er temperaturen faldet til  $3,8^{\circ}\text{C}$ , hvor den og holder sig mere eller mindre konstant. Trykket på disse dybder varierer fra omkring 40 til over 110 atmosfæres tryk. Havbunden ligner en endeløs ørken brudt af talrige undervandsbjerge, og der er på disse dybder næsten ingen næringsstoffer.

Før i tiden troede man, at intet liv kunne overleve uden lys. Vi ved dog nu, at der findes masser af liv dernede på trods af de ekstreme forhold – ikke mindst mikroorganismer, men også dybhavskoraller, fisk og mange andre gennemsigtige

(nogle er endda farvede) bizarre væsner. På de store havdybder kan det næsten virke, som var man på en anden planet.

At udforske dybhavet er en stor udfordring, men havforskere arbejder dedikeret på at dokumentere, hvad der findes i dybet, før vi måske i værste fald ødelægger det.

## Metalrige knolde på havbunden

De første kendte globale havforskningsekspeditioner var den britiske Challenger-ekspedition fra 1872-1876, som udførte de første systematiske undersøgelser af havbunden og indsamlede talrige hidtil ukendte organismer. Men man opdagede også, at der på Stillehavets bund fandtes kartoffel- eller blomkålsformede knolde, der var rige på mangan og en række andre metaller. I takt med, at nye

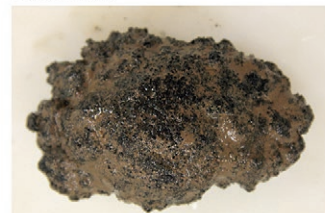




Top view



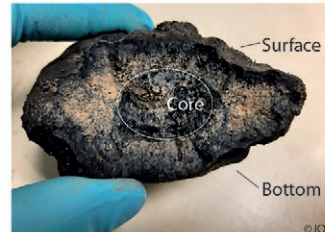
Bottom view



Side view

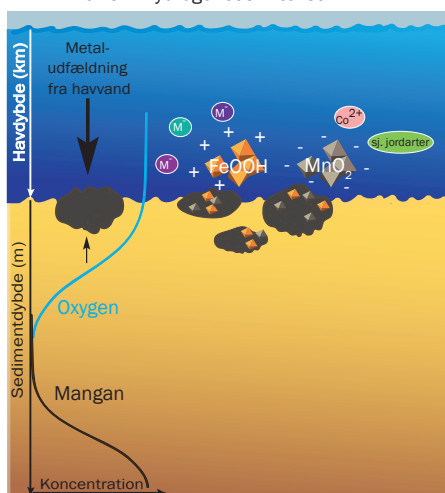


Cross-section

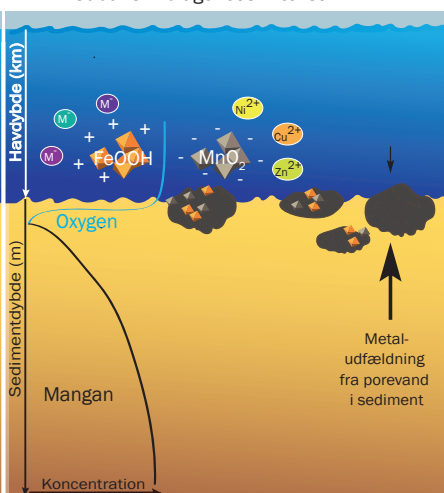


Julia M. Otte i færd med at vælge manganknolde til sine undersøgelser. På nærbillederne af en af knoldene kan man se et tværsnit, som viser at knolden vokser i ringe som et løg. Væksthastigheden er cirka 1 mm på 1 million år. Fotos: Julia M. Otte

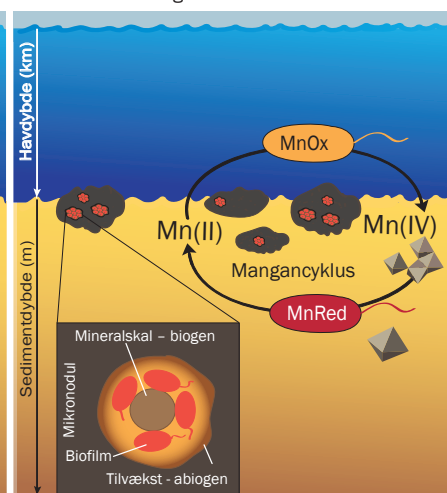
Oxisk - hydrogenetisk vækst



Suboxisk - diagenetisk vækst



Biologisk drevet vækst ?



Illustrationerne viser de forskellige måder, forskerne mener, at manganknolde på havbunden kan vokse på. Metaller kan udfældes på knoldene fra vandsøjlen eller fra porevandet i sedimenterne under knoldene. En ny hypotese er, at mikroorganismer kan stimulere væksten af manganknoldene, men dette er endnu ikke undersøgt i detaljer. Da manganknolde vokser ekstremt langsomt er det meget svært at simulere deres vækst i laboratoriet. Illustration: Julia M. Otte

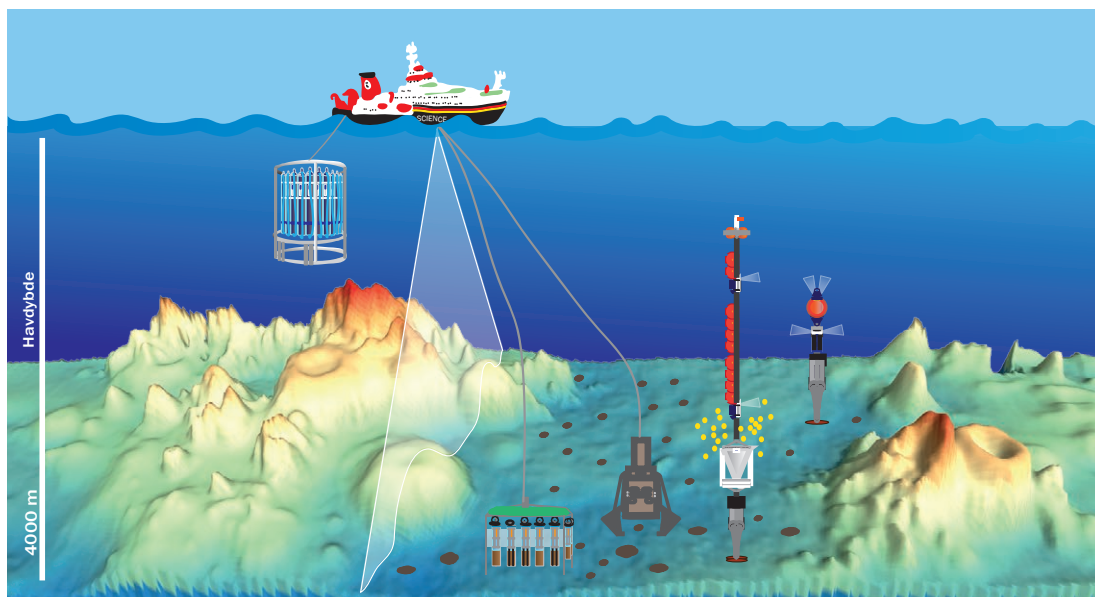
havområder blev udforsket, opdagede man flere mineralforekomster på dybhavsbunden, herunder områder med de omtalte manganknolde (også kaldet mangannoduler), områder med massive sulfider i havbunden og koboltrig havbundsskorpe. Den største kendte forekomst af manganknolde, som har et økonomisk bæredygtigt indhold af kobber, kobolt, aluminium, nikkel og sjældne jordarter, findes i den såkaldte Clarion-Clipperton brudzone i det nordøstlige Stillehav mellem Hawaii og Mexico – et område cirka på størrelse med Europa.

Der er stor interesse for disse aflejringer af manganknolde, fordi de

indeholder større mængder af visse metaller, end der findes i andre kendte forekomster, det er muligt at udvinde. Det antages eksempelvis, at de globale forekomster af manganknolde på havbunden indeholder væsentligt mere mangan end forekomster på land. Den samlede vægt af manganknoldene i Clarion-Clipperton brudzonen er anslået til omkring 21 milliarder tons.

Aflejringer af manganknolde forekommer udbredt på havbunden ved dybder på 4-6 km, og siden begyndelsen af 1970'erne er der udført adskillige videnskabelige

undersøgelser for at vurdere resourcepotentialen i områder med manganknolde. Den økonomiske interesse for manganknoldene er drevet af, at de indeholder mange metaller som kobber, lithium, titan og sjældne jordarter, der bruges i moderne teknologi som smartphones, bærbare computere og fladskærms-tv'er. Og den grønne omstilling driver yderligere efterspørgslen på disse metaller til brug i solceller, magneter i vindmøller og elbil-batterier. Det stigende behov kombineret med udtømningen af de kendte landbaserede malmforekomster af høj kvalitet gør, at mange kigger sultent mod havbunden.



Når forskere undersøger havbunden i et manganknoldfelt, foretages der flere typer målinger. Først kortlægges havbunden med sonar, der placeres udstyr på havbunden for at måle bundstrømmene, og sedimenterne fanges for at kvantificere partiklernes synkehastighed. Forskerne har også udstyr til at indsamle vandprøver, sedimentprøver og manganknolde fra havbunden, som analyseres om bord på skibet. Forskere undersøger primært de første 5 m af den dybe havbund.

Illustration: Julia M. Otte.

### Sådan vokser manganknolde

Siden man opdagede de store forekomster af manganknolde af Clarion-Clipperton brudzonen, har forskere fokuseret på at forstå manganknoldenes oprindelse og vurdere deres ressourcepotentiale. Da havbunden i Clarion-Clipperton brudzonen findes på mere end 4000 meters vanddybde, aflejres sedimenter på havbunden her ganske langsomt – det vil sige med en hastighed på mindre end 1 centimeter per tusind år. Denne meget langsomme aflejringshastighed fremmer væksten af manganknolde. Dannelsen af manganknolde kræver en vækstkerne, som kan være fragmenter af vulkanske klipper eller biologisk materiale såsom hjatænder eller et stykke muslingeskal. Hovedbestanddelene af manganknoldene – jern og mangan – dannes som lag af oxider omkring kernen i iltrigt havvand ved havbunden. Under dannelsesprocessen optages forskellige metaller fra havvandet på overfladen af manganoxiderne, hvilket over tid fører til, at knolden bliver beriget med metaller. På den måde kan knoldene vokse omkring 2 millimeter over en million år.

De fleste manganknolde fundet i Clarion-Clipperton brudzonen viser vækstlag af forskellig oprindelse og væksthastigheder. Knoldene tilføres ikke kun metaller fra havvandet, men kan også vokse ved at adsorbere metaller, som frigives i iltrige sedimenter umiddelbart under knoldene ved mikrobiel nedbrydning af organisk stof.

Endelig har der også været perioder med særlige miljøforhold, hvor knoldene er blevet forsynet med metaller fra dybere sedimenter, som blev transporteret af sedimentets porevand. I disse perioder voksede knoldene meget hurtigere – op til 250 millimeter over en million år.

### Unikt habitat for mikroorganismer

Udover at afklare de geokemiske dannelsesmekanismer for manganknoldene, har de nyere undersøgelser også afsløret, at manganknoldene udgør et unikt levested for mikrobielle samfund. Disse mikrobefund knyttet til manganknolde er domineret af jern- og mangancirkulerende mikroorganismer, som muligvis spiller en vigtig rolle i kredsløbet af mangan og jern på og inde i knoldene. Dette

biologisk drevne metalkredsløb er endnu ikke fuldt ud forstået, men det kan være relevant for selve dannelsen af manganknoldene, da mikroorganismerne aktivt producerer mangan- og jernoxider.

De hidtidige undersøgelser af manganknoldene og livet omkring dem har haft fokus på geokemiske processer og store organismer. Der er derfor brug for at etablere en basisviden om mikrobefundene og deres økologiske betydning for at kunne vurdere de potentielle effekter af fremtidig minedrift på dybhavsbunden. På nuværende tidspunkt ved man ikke meget om, hvilke effekter industrielle minedriftsaktiviteter vil have på dybhavsøkosystemerne og de geokemiske processer i havbunden. Før industriel udnyttelse af manganknolde på dybhavsbunden finder sted, er det derfor vigtigt at udforske områderne med manganknolde og om nødvendigt beskytte dette unikke habitat.

### Minedrift i dybhavet

I løbet af de næste 30 år forventes den globale befolkning at vokse med to milliarder mennesker. Og i 2050 vil to tredjedele af alle men-



## Mikroorganismerne i dybet

Hvis man tager et nærmere kig på sedimenterne på bunden af dybhavet og vandet lige ovenover, vil man opdage en mangfoldighed af liv i form af encellede organismer – bakterier, arkæer, svampe, protozoer og vira – der trives her trods det ugæstfrie miljø. En dråbe havvand rummer mere end en million bakterier og en teskefuld havsediment indeholder mere end en milliard.

Intet lys trænger ned til havbunden i dybhavet, og de fleste af de organismer, der lever der, er derfor afhængige af organisk materiale, der produceres længere oppe i vandsøjlen, hvor der er lys nok til, at der kan foregå fotosyntese (den fotiske zone), og som efterfølgende synker ned på havbunden. Af den grund antog videnskabsfolk tidligere, at der ville være meget sparsomt med liv i det dybe hav. Men når man undersøger prøver hentet op fra dybhavbunden, rummer de stort set alle masser af liv.

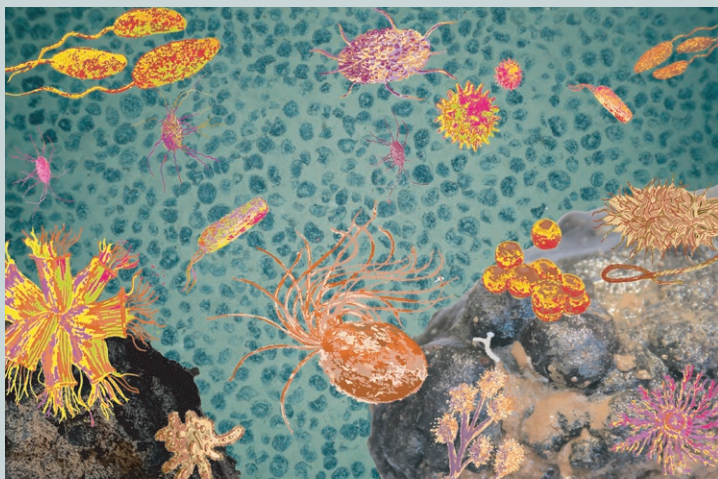


Illustration: Julia M. Otte.

Manganknoldefelt med fotos af manganknolde. Forskellige typer af mikroorganismer er vist.

Dybhavssedimenter rummer den største mængde bakterier, arkæer og vira på Jorden, og diversiteten af mikroorganismer er potentielt meget høj. Det er blevet estimeret, at så meget som en tredjedel af Jordens samlede levende biomasse udgøres af mikroorganismer i undersøiske sedimenter.

Mikroorganismernes antal i un-

dersøiske sedimenter og potentielle økologiske betydning står i kontrast til, hvor lidt vi ved om dem. Diversiteten i mikroorganismernes stofomsætning, sammensætningen af artssamfund og dennes variation på tværs af miljøer er stort set ukendt. Men at forstå mikroorganismernes fordeling og aktiviteter er afgørende for at forstå livet på Jorden.

## Undersøgelser af dybhavsbunden

Sedimenterne på bunden af dybhavet består generelt af små partikler af biologisk oprindelse – det vil sige fragmenter, skaldele og afføring fra organismer, som synker ned på havbunden fra det produktive overfladehav. Derudover består sedimentet også af uorganisk materiale i form af mineraler, der er transporteret fra landjorden via floder eller med vinden eller stammer fra vulkansk aktivitet. Når vi befinder os 1000 kilometer fra land, er tilførslen af materiale fra land meget lille, og samtidig er den marine produktion i overfladevandet betydeligt mindre her end i kystnære områder. Det betyder, at "regnen" af organisk materiale til havbunden på 4000 meters dybde er meget lille – men den udgør ikke desto mindre den vigtigste fødekilde for mikroorganismer, der lever i sedimentet.

For at undersøge, hvordan mikroorganismerne kan leve i sedimentet under så ekstreme forhold, hentes sedimentkerner op fra havbunden, som analyseres både geokemisk (næringsstoffer og metaller i porevandet) og mikrobiologisk (for eksempel celledælling, enzymaktivitetstest, identificering af mikroorganismer ved hjælp af DNA og RNA-ekstraktion)

Målingerne ombord giver os et første blik på, hvad der sker i de dybe sedimenter. Vi kan overvåge mikrobiel



Foto: Julia M. Otte

Sedimentprøver fra havbunden.

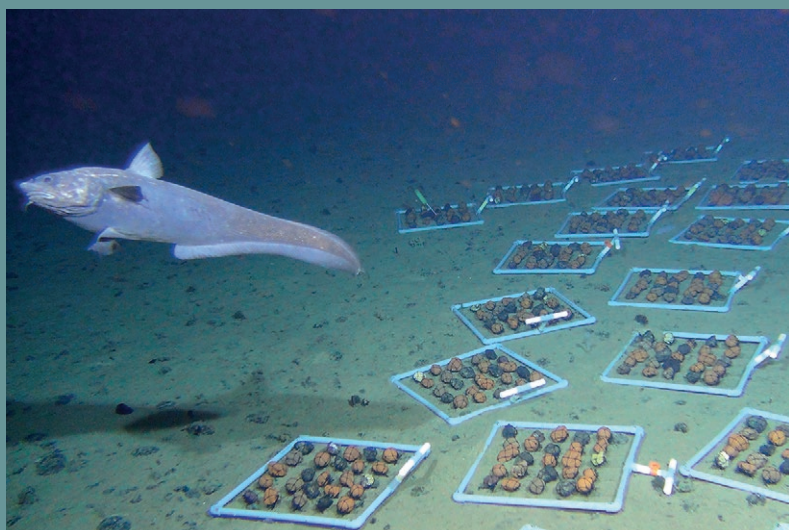
effektivitet hovedsageligt via tilgængeligheden af ilt i sedimentkernerne. I dybhavets sedimenter er iltforbruget meget lille sammenlignet med lavvandede områder tæt på kysten, hvor der aflejres meget mere organisk materiale.

## Forskning i konsekvenser af dybhavsminedrift

I 2019 var jeg som mikrobiolog en del af den 80 personer store besætning på det tyske forskningsskib Sonne, som var på et tre måneder langt forskningstogt til den såkaldte Clarion-Clipperton zone i Stillehavet. Det videnskabelige togt var en del af et fælleseuropæiske projekt, JPI Oceans "Mining impact", som skal tilvejebringe viden om konsekvenserne af dybhavsminedrift og danne grundlag for fremtidige regler på området. Den konkrete anledning var, at virksomheden DME på det tidspunkt testede "havbundsstøvsugeren" Patania II til indsamling af manganknolde på 4000 meters dybde.

Togtet blev ledet af den tyske forskningsinstitution Geo-mar, og i april 2021 gentog de samme forskningsgrupper deres undersøgelser på et nyt togt. Overordnet gik undersøgelserne ud på at studere mikrobiel aktivitet på dybhavsbunden – hvilke mikroorganismer findes der, og hvordan varierer sammensætningen af mikroorganismer indenfor og mellem områder med manganknolde? Et andet forskningsfokus var på at undersøge partikelkoncentrationen i den sedimentfane, der hvirvles op i forbindelse med dybhavsminedrift.

Et af de konkrete eksperimenter går ud på at undersøge samfundene af mikroorganismer i havbunden før og efter, at de store og tunge maskiner til dybhavsminedrift har komprimeret havbunden på grund af deres vægt. Her brugte forskerne en almindelig haverive til at løsne sedimentet igen og sammenligne de levende samfund før og efter dybhavsminedriften og før og efter at have brugt haveriven.



Kunstige manganknolde lagt ud på havbunden af forskerne. En dybhavsfisk svømmer forbi. Foto: ROV-Team/GEOMAR

Et andet eksperiment var at teste, om koraller og svampe, der lever fastvokset til manganknoldene i dybhavet, kan bruge keramiske knolde som erstatning, når man har høstet manganknoldene. Da manganknoldene vokser ekstremt langsomt – et par millimeter per million år – vil fastsiddende organismer i praksis blive berøvet deres livsgrundlag, hvis manganknoldene forsvinder. Når forskerne om nogle år genbesøger de steder, hvor de har plantet keramiske knolde, vil det vise sig, om denne metode kan være en brugbar måde at genoprette økosystemet på.

nesker bo i byer. Det kommer til at betyde, at verden får brug for millioner flere vindmøller, solpaneler og batterier til elektriske køretøjer, hvilket vil lægge et enormt pres på metalforsyningerne. I dag udvindes mineraler og sjældne jordarter i miner på land, ofte i fattige områder med børnearbejde, og det har store miljømæssige og sociale omkostninger. Det har rejst spørgsmålet, om det vil være bedre at søge efter råstoffer i dybhavet. Ifølge aktører fra den undersøiske mineindustri repræsenterer havet en langt større og potentielt mere klimavenlig kilde til at udvinde råstofferne end forekomster på land, og de slår på vigtigheden af at sikre omstillingen til vedvarende energi.

I april 2021 blev verdens første pilottest for dybhavsminedrift gen-

nemført på Stillehavets bund i form af den 25 tons tunge robot Nodule collector Patania II. I omkring en time kunne den belgiske virksomhed DME køre det enorme køretøj rundt på havbunden, mens der blev indsamlet 110 tons manganknolde. Den næste mission – som er planlagt til år 2024 – vil teste et system bestående af en fuldskala prototype på en manganknold-opsamler sammen med et stigrør, som bringer knoldene op til overfladen.

Fremtidig havbundsminedrift vil involvere en sugepumpe, der trækker manganknoldene op fra havbunden til et skib ovenover. Knoldene vil derefter blive sorteret og de værdifulde mineraler og metaller udvundet, mens skibet stadig er på havet. Alt restmaterialet dumpes tilbage i havet, hvilket vil give en

enorm fane af sediment, der breder sig fra skibet. Det er ikke kun de enorme sedimentfane, der udgør et potentielt miljøproblem – også støj og lysforurening vil påvirke dybhavslivet.

### Er fremtiden at høste manganknolde på havbunden?

En nylig cost-benefit analyse fra MIT (Massachusetts Institute of Technology) har vist, at udvinding af disse manganknolde er rentabelt med årlige indtægter op til 2,2 milliarder dollars. Det har givet mange stater og virksomheder blod på tanden. Også danske virksomheder er indirekte involveret. Således har den danske stjernearkitekt Bjarke Ingels (fra BIG) for det canadiske selskab *The Metals Company* designet en prototype til en 300 tons "støvsuger" til at samle manganknolde op

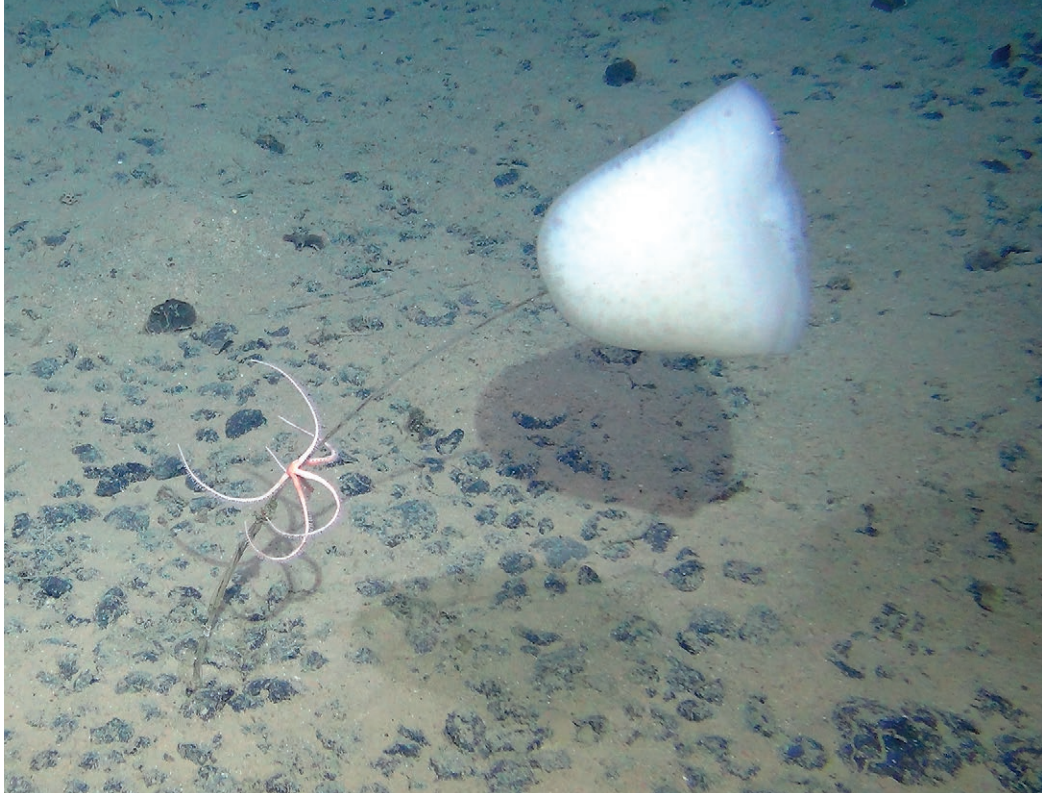


fra havbunden samt tilhørende fartøjer og platforme. Tilsvarende har Mærsk Forsyningsservice gennem 2018 og 2020 arbejdet sammen med DeepGreen om at tilvejebringe viden til at udvikle en metode til at høste knoldene og udvinde metaller frem på en bæredygtig og miljøvenlig måde.

Situationen i dag er altså den, at vi på den ene side har nogle politikere og virksomheder, der er enige om, at den grønne omstilling afhænger af, at virksomheder og aktører tør gå nye veje for at vinde klimakampen – og at minedrift på havbunden i den forbindelse kan være et mere miljøvenligt alternativ til minedrift på land. På den anden side har flere havforskere, politiske eksperter og ngo'er underskrevet erklæringer for at standse planer om dybhavsminedrift. Deres resultater viser, at dybhavsminedrift kan medføre tab af biodiversitet og økosystemfunktion, som vil være irreversible over flere generationer og have ukendte konsekvenser for kulstofbindingsdynamikken og kulstoflagring i dybhavet.

Indtil videre har EU foreslået at bremse mineeksperimenter i europæiske farvande, mens virksomheder som Google, Volvo, BMW, Philipps og Samsung har støttet Worldwide Fund for Nature's opfordring til at stoppe offshore minedrift. Andre virksomheder som Microsoft, Ford Automotive, GM og Rivian har taget skridt for at sikre, at mineraler hentet gennem dybhavsminedrift ikke vil blive brugt i deres forsyningskæder, men har endnu ikke tilsluttet sig kravet om et politisk moratorium. I de kommende år skal det internationale organ ISA (International Seabed Authority) tage stilling til, om der skal gives grønt lys til at starte en egentlig minedrift.

Denne debat er yderst relevant, og emnet vil også blive diskuteret i Danmark til maj, hvor København er vært for Global Dredging Summit, der dækker diskussioner om dybhavsminedrift. ■



↑ Det er en meget følsom muddermalle (hvid: hexactinellid *Hyalonema* sp.), som vil lide mest under dybhavsminedrift og den tilhørende fauna (pink: *Brisingida*). Foto: ROV-Team-GEOMAR

← Et mærkeligt væsen (en søagurk) indsamles med ROV-armen (= fjernstyret fartøj). Foto: ROV-Team-GEOMAR

## Internationalt samarbejde om havbunden

I 1994 blev International Seabed Authority (ISA) dannet som et mellemstatsligt organ under De Forenede Nationers havretskonvention. Et af de grundlæggende juridiske principper i ISA er, at havbunden og dens ressourcer er "menneskehedens fælles arv". Det betyder, at myndigheden ikke kun har ansvaret for at beskytte havmiljøet, men også for at sikre en retfærdig fordeling af provenuet fra enhver økonomisk aktivitet på havbunden. ISA består af 167 medlemsstater og Den Europæiske Union og har mandat til at organisere, regulere og kontrollere alle mineralrelaterede aktiviteter på havbunden i Internationalt farvand, hvilket udgør cirka 50 procent af det samlede areal af verdenshavene.

I 2019 har ISA indgået kontrakter om efterforskning af manganknolde, og aktuelle udforskningsområder er i Clarion-Clipperton Zonen i Stillehavet, langs de midtatlantiske rygge og i Det Indiske Ocean – områder, der samlet dækker omkring 2 millioner km<sup>2</sup>. Blandt de involverede lande er Kina, Indien, Sydkorea, Rusland og Stillehavsøstaterne samt Storbritannien, Frankrig, Belgien og Tyskland. På det seneste har der været stor interesse for muligheden for at udnytte havbundens ressourcer i det arktiske hav, der grænser op til Canada, Grønland, Island, Norge, Rusland og USA. Mineralefterforskning og -udvindingsaktiviteter i ethvert havbundsområde, der ikke tilhører disse stater, vil falde ind under ISA-jurisdiktion.

**Videre læsning:**  
Om *JPI Ocean project*: [miningimpact.geomar.de](http://miningimpact.geomar.de)

Julia m.fl. har skrevet om deres oplevelser ombord på forsknings-skibet Sonne: [www.oceanblogs.org/easdm](http://www.oceanblogs.org/easdm)

Paulikas, D. et al (2022): Deep-sea nodules versus land ores: A comparative systems analysis of mining and processing wastes for battery-metal supply chains. *Jour. of Industrial Ecology*.

Is Mining The Ocean Bottom For Metals Really Better Than Mining On Land? *Forbes*, 24. Feb 2021

Mineral Resources of the Deep Sea: Formation, Potential and Risks. *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany, 2020. 36 pp*



# HVORDAN BLIVER PLANTERNE GAMLE?



Foto fra feltarbejde indenfor SEAD-Plant-projektet på Enebær Odde på Fyn, hvor planteindivider besøges for at notere overlevelse, reproduktion og tilvækst.  
Foto: Dalia Conde.

## Forfatteren



Johan P. Dahlgren er lektor ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet.

Han forsker i biodemografi med særligt fokus på planter – herunder at udvikle metoder til brug i aldringsforskningen. Artiklen her bygger på resultater fra forskningsprojektet SEAD-Plant: der er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond og om har kørt på Syddansk Universitet siden 2016.

dahlgren@biology.sdu.dk

**At sandsynligheden for at overleve til næste år eller producere afkom falder med alderen, opfatter vi nærmest som en naturlov. Men sådan er det ikke nødvendigvis for planter. Forskningsresultater viser, at der er stor variation i planternes aldringsmønstre.**

I 1960'erne hævdede den britiske biolog William Donald Hamilton at kunne bevise matematisk, at den naturlige udvælgelse, der er drivkraften bag evolutionen, uundgåeligt resulterer i, at alle levende væsener degenererer fysiologisk med alderen. De demografiske konsekvenser af dette er, at den individuelle sandsynlighed for at overleve og evnen til reproduktion falder i takt med, at organismer ældes. Dette kan virke intuitivt indlysende, men i betragtning af, at levende væsener er åbne systemer, der er vokset fra en enkelt celle, kan reparation af beskadiget DNA og væv i teorien modvirke, at organismer degenererer med alderen. Hamiltons og lignende klassiske teorier om al-

ring er baseret på forestillingen om, at unge individer vil have en større indflydelse på den fremtidige populationstilvækst end gamle individer. Naturlig selektion bør derfor favorisere alle gener, der fører til øget fitness tidligt i livet, på bekostning af fitness sent i livet. Dette er da også en sandsynlig forklaring på den dramatiske stigning i risikoen for at dø samt vores faldende reproduktion, når vi mennesker bliver gamle. Det er også det, vi observerer i naturen for andre pattedyr såvel som for fugle.

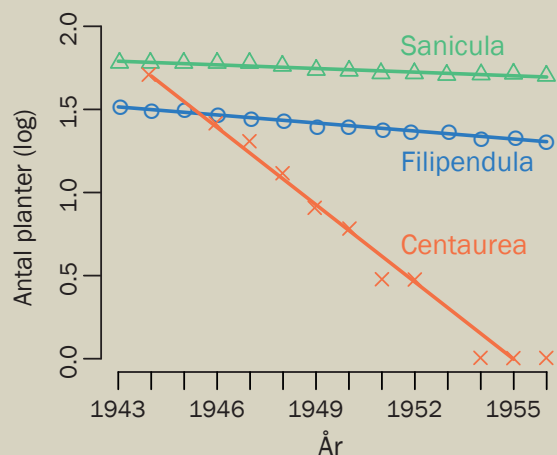
Hvad planterne angår, så viste de tidlige demografiske undersøgelser (fra omkring midten af 1900-tallet) et noget mindre klart billede, hvad angår konsekvenserne af at blive

gammel. Det så ud til, at når planterne nærmede sig deres fuldt udviklede størrelse, holdt deres overlevelse og frugtbarhed ganske vist op med at stige, men begyndte på en anden side heller ikke at falde. I stedet forblev begge dele nogenlunde konstante, efterhånden som planteindividerne blev ældre (fig. 1). Alligevel antog de fleste biologer, at planter også oplever demografisk aldring, om end i et langsommere tempo, som var svært at måle.

Siden disse tidlige undersøgelser er plantedemografi som en underdisciplin af populationsbiologi vokset betragteligt. Det skyldes ikke mindst, at forståelsen af, hvordan for eksempel ændringer i klima og andre miljøfaktorer vil påvirke plan-



## Overlevelse og alder



Figuren viser klassiske resultater, der tyder på konstant overlevelse med alderen hos planter. Symbolerne repræsenterer antallet af planter af arterne Sanikel (*Sanicula europaea*) Knoldet mjøddurt (*Filipendula vulgaris*) og Almindelig knopurt (*Centaurea jacea*), der blev mærket i deres naturlige miljø i det første år (1943 eller 1944), af den svenske botaniker Carl Olof Tamm. Tamm fulgte derefter planterne i de følgende år og noterede, hvor mange der overlevede. Fordi den lodrette akse er på en log10-skala, tyder de bemærkelsesværdigt lige linjer på, at den samme andel af individer havde tendens til at dø hvert år for alle tre arter, hvilket tyder på ubetydelig aldring. Figuren er lavet efter originalen af den berømte plantepopulationsbiolog John Lander Harper.



Knoldet mjøddurt (*Filipendula vulgaris*). Foto: Didier Descouens/CC BY-SA 4.0



Sanikel (*Sanicula europaea*). Foto: Kristian Peters/CC BY-SA 3.0



Almindelig knopurt (*Centaurea jacea*). Foto: Kristian Peters/CC BY-SA 3.0

ters populationsdynamik, kræver, at man forstår, hvordan den individuelle overlevelse og reproduktion påvirkes af de selvsamme faktorer. Det var dog først for relativt nylig, at plantebiologer genoptog interessen for, hvad der sker med planter, når de ældes, og indså, at Hamiltons modeller muligvis var for generelle til nøjagtigt at afspejle virkeligheden.

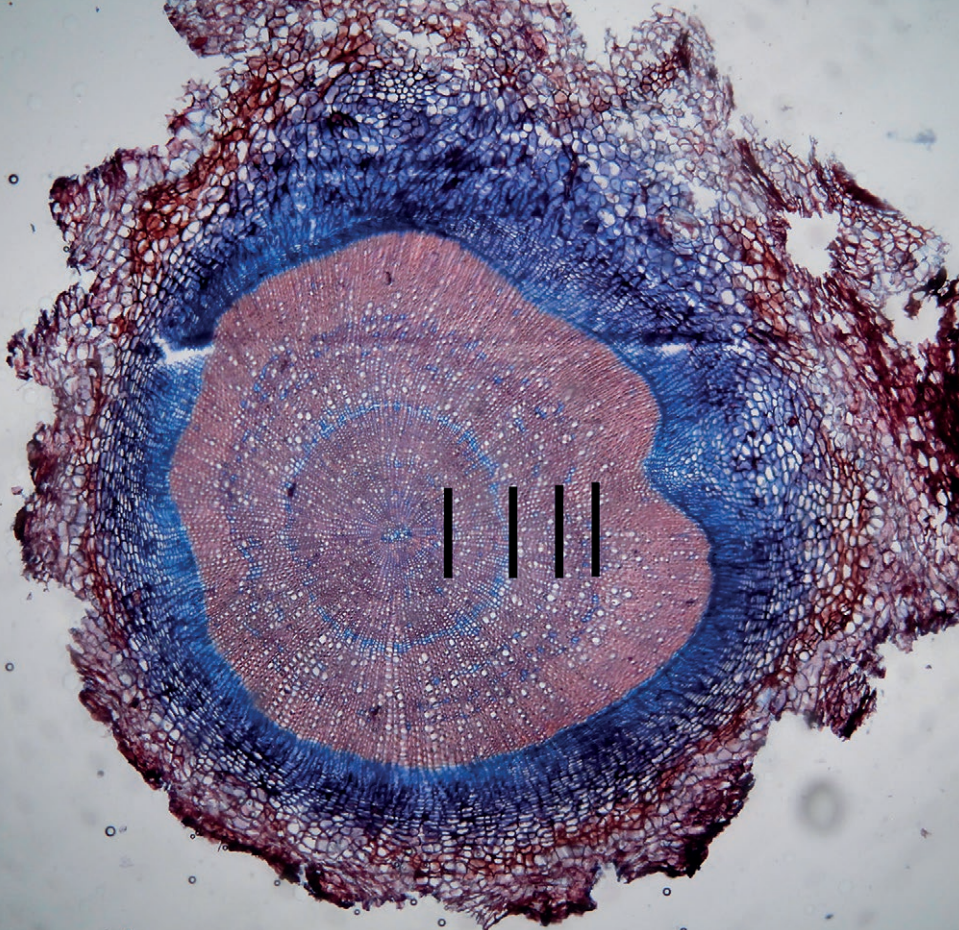
### Sådan måler vi planter aldring

På Syddansk Universitet forsker vi i regi af SEAD-Plant-projektet i planter aldring ud fra et demografisk synspunkt og indsamler data fra naturlige populationer om, hvordan sandsynligheden for overlevelse og reproduktionen ændrer sig, når planterne bliver ældre. Vores undersøgelser baserer sig på to metoder

til at bestemme alderen på planter, som vi kombinerer med feltstudier, der følger individer af planter over tid for at vurdere deres overlevelse og reproduktion.

Den første og mest enkle metode til aldersbestemmelse har været at bruge data om plantepopulationer, som er blevet fulgt over ekstremt lange tidsperioder, hvor individer er





Mikroskopbillede af et tværsnit af en fem år gammel rod af Lancet-vejbred (*Plantago lanceolata*), som viser årlige vækstringe. Roden stammer fra en plante, der vokser på Flyvesandet, Fyn, og er gravet op som led i en undersøgelse af demografisk aldring. Tværsnittet er blevet kunstigt farvet, så træagtigt væv fremstår rødt. Den centrale røde del er vedvæv, hvor grænser mellem vækstringe er markeret med sorte streger.

blevet observeret fra spiring til død. På trods af, at de er ekstremt tidskrævende, har flere plantedemografiske undersøgelser – oprindeligt designet til bedre at forstå populationsdynamikken – nu været i gang i årtier, og data fra disse har vi brugt i vores projekt.

Udover at bruge sådanne langtidsdata kombinerer vi demografisk monitorering på kortere tidsskala med aldersbestemmelse via en teknik kaldet urtekronologi (fig. 2). Den er baseret på, at mange urteagtige (dvs. ikke-træagtige) planter producerer årringe i deres rødder, der ligner de årringe, vi kender fra træer. Ved kun at studere relativt kortlivede planter i nogle få år kunne vi således følge dem i en væsentlig del af deres liv, og vi var i stand til at bestemme, hvor gamle de var. Når individer døde, blev deres rødder gravet op og deres årringe talt, og ved afslutningen af undersøgelsen blev alderen af de overlevende planter bestemt på samme måde.

Når vi har indhentet data om alder og kvantificeret årlig overlevelse og reproduktion, bruger vi statistiske modeller til at bestemme, hvordan overlevelse og reproduktion ændrer sig i takt med, at individer bliver ældre.

### Stor variation i aldringsmønster

Samlet tegner resultaterne af de forskellige undersøgelser i projektet et billede af en stor mangfoldighed i, hvordan planter ældes. For det første har vi vist, at demografisk aldring faktisk forekommer hos flere plantearter. Et eksempel er mossen Skov-jomfrukapsel (*Polytrichum formosum*). Ved hjælp af data indsamlet over 25 år i Norge har vi opdaget et drastisk fald i overlevelse i takt med, at individuelle mosplanter bliver ældre (når man ser bort fra hunplanter, der dør efter reproduktion). Sandsynligheden for overleve til næste år falder således fra 83 % det første år til 44 % for den maksimalt registrerede alder på 14 år. Dette resultat var særligt interessant, fordi

de fleste tidligere plantedemografiske undersøgelser har fokuseret på blomsterplanter. Det er første gang, at demografisk aldring er blevet påvist i en mos.

Mens flere arter altså ældes demografisk, har vi i vores undersøgelser også set eksempler, der støtter det mønster, som er rapporteret i tidlige plantedemografiske undersøgelser, hvor planterne udviser "ubetydelig aldring". Derudover tyder noget på, at et fænomen som "negativ aldring" også kan forekomme hos planter – det vil sige, at overlevelse og reproduktion ligefrem kan øges, jo ældre planterne er.

Et eksempel på en plante, der udviser et sådant mønster, er Lancet-vejbred (*Plantago lanceolata*), som vi undersøgte i en dansk population ved hjælp af urtekronologi. Vi fandt, at for denne art var overlevelseskurver i nogle år ret flade (dvs. der var ingen effekt af alder), mens ældre planter i andre år havde højere overlevelsesrater end unge individer. Selvom antallet af frø produceret per reproduktiv plante først steg (indtil planterne var omkring 5 år gamle) og derefter faldt mod slutningen af livet (maksimal registreret alder i undersøgelsen var 12 år), steg sandsynligheden for faktisk reproduktion (blomstring) med alderen i de fleste år. Det tyder på, at hvis der vitterligt er demografisk aldring på spil, er den ret svag.

Alt i alt viser vores undersøgelser, at planter – i modsætning til de fleste dyr – synes at ældes på flere forskellige måder. Projektet har også vist, at noget af denne variation kan skyldes miljøforskelle.

### Virkninger af miljøet og betydning for bevaringsbiologi

Det er interessant, at ikke bare kan man observere forskelle på, hvordan forskellige plantearter ældes, man kan også finde forskelle på aldringsmønstre selv indenfor den samme art indenfor et lille geografisk område. Det fænomen har vi



beskrevet for en art af dværgbusk, Gotlandssoløje (*Fumana procumbens*) i tidsskriftet *Ecology*. Vi viser i denne artikel, hvordan vi på lokaliteter, der ikke er mere end en halv kilometer adskilt, finder subpopulationer af denne art med både faldende og let stigende overlevelsessandsynligheder med alderen for fuldt udvoksede planter.

Denne mangfoldighed af aldring i Gotlandssoløje er interessant, fordi den viser betydningen af økologiske effekter, hvor miljøvariationer driver variation i aldringsmønstre. Vi har endnu ikke kvantificeret miljøforskelle mellem lokaliteter, men disse er sandsynligvis forbundet med tilgængeligheden af næringsstoffer. Den tætte nærhed af lokaliteterne gør det usandsynligt, at genetiske forskelle er årsagen til den observerede variation.

Udover denne variation indenfor arten viser vi i samme undersøgelse, at det kan være vigtigt at tage højde for demografisk aldring i bevaringsbiologien – altså den del af biologien, der går ud på at fremme bevarelsen af truede arter. Demografiske modeller for populationsdynamik bruges af biologer, der arbejder med bevaringsbiologi, til at vurdere levedygtigheden af populationer. Da vi brugte disse modeller, enten med eller uden alderseffekter, fandt vi ud af, at de modeller, der ikke inkluderede aldring, undervurderede risikoen for udryddelse for vores populationer.

Alt i alt viser de resultater, jeg har præsenteret i denne artikel, samt andre undersøgelser indenfor projektet, at der faktisk er nogle planter, der "ældes som vin", andre, der virker upåvirkede af at blive ældre, og atter andre, der – for at blive i analogien – "bliver til eddike" med alderen. Denne bemærkelsesværdige variation er også påvirket af miljøet (såsom egenskaber ved den jord, planterne vokser i, og vejrforholdene), og derfor kan planter udvise variation i deres aldringsmønstre selv indenfor samme art. ■

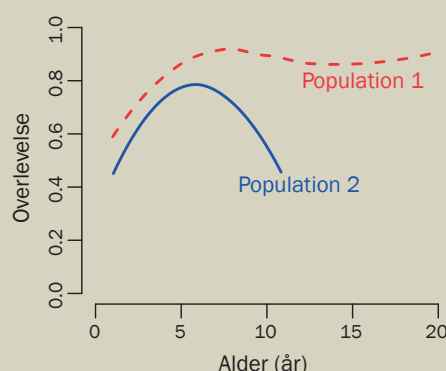


Gotlandssoløje (*Fumana procumbens*).

Foto: Daniel Villafuella/CC by-SA 4.0

## Overlevelseskurver

Figuren viser overlevelseskurver for to tæt beliggende populationer af Gotlandssoløje (*Fumana procumbens*), der illustrerer, hvordan aldringsmønstre kan variere indenfor samme art. Population 2 udviser det mønster, vi ville forvente for mange andre organismer, hvor overlevelsen stiger indtil reproduktiv modenhed og derefter falder. I population 1 observerer vi derimod en udjævning med en tendens til øget overlevelse sent i livet. Denne stigning, selvom den ikke er statistisk sikker, kan være en indikation på, at individer populært sagt vokser sig stærkere med alderen. På den anden side kunne det frem for at reflektere ændringer i det enkelte individ afspejle et populationsmønster drevet af, at kun de stærkeste planter overlever til ekstreme aldre. Denne type fænomen er blevet dokumenteret i dyredemografi.



## Demografi og demografisk aldring

Fagudtrykket *demografi* dækker over studiet af populationer og handler primært om matematiske undersøgelser af fødsels- og dødsrater (dvs. om reproduktion og dødelighed/overlevelse). Selvom klassisk demografi fokuserer på menneskelige populationer, har populationsbiologer også studeret demografien af populationer af dyr, planter og andre organismer i mange årtier.

Udtrykket *demografisk aldring* refererer til det gradvise fald i overlevelses- og reproduktionsrater med individernes fremadskridende alder. Når der ikke kan ses et sådant fald i overlevelses- og reproduktionsrater med alderen kalder man det *ubetydelig aldring* eller *negativ aldring*, hvis individer ligefrem viser en vækst i overlevelses- og reproduktionsrater med alderen.

Fra et planteperspektiv er det vigtigt at bemærke, at *demografisk aldring* afspejler aldring af hele planteindivider, som ikke er det samme som ældning af blade og stængler af urteagtige planter, som vi oplever det hvert efterår i Danmark.

Bemærk i øvrigt, at ordet *aldring* her bruges for det mere specifikke engelske fagudtryk *senescence*, som vi ikke har et tilsvarende dækkende dansk udtryk for.

### Videre læsning:

Tholstrup, D. W., Halvorsen, R. & Dahlgren, J. P. 2021. Age matters: Demographic senescence in the moss *Polytrichastrum formosum*. *Journal of Ecology* 109:3024-3030.

Baden, H. M., Roach, D. A., Schweingruber, F., Reitzel, K., Lundgreen, K. & Dahlgren, J. P. 2021. The effects of age on the demography of a perennial plant depend on interactions with size and environment. *Journal of Ecology* 109:1068-1077.

Edelfeldt, S., Bengtsson, K. & Dahlgren, J. P. 2019. Demographic senescence and effects on population dynamics of a perennial plant. *Ecology* 100:8.

Stor museøre er en af Europas største flagermusarter. Den vejer typisk omtrent 30 gram og lever længere end noget andet dyr med samme kropsstørrelse. Foto: Kaloyana Kosseff

# PÅ NATTEJAGT MED VILDE FLAGERMUS

Flagermus udgør en fjerdedel af klodens pattedyrsarter og spiller vigtige roller for verdens økosystemer. Ved hjælp af mikrocomputere bliver vi nu klogere på disse fascinerende dyrs adfærd, hvilket kan hjælpe os med at bevare dem i fremtiden.

## Om forfatterne



Laura Stidsholt er Villum International postdoc ved Freie Universität Berlin. Hun arbejder med ekkolokalisering i flagermus, og hvordan menneskeskabt lys- og lydforurening påvirker deres levevilkår. [laura.stidsholt@bio.au.dk](mailto:laura.stidsholt@bio.au.dk)



Peter Teglberg Madsen er professor på Biologisk Institut, Aarhus Universitet og forsker i ekkolokalisering og sansefysiologi i hvaler og flagermus. [peter.madsen@bio.au.dk](mailto:peter.madsen@bio.au.dk)

**F**lagermus er blandt de mest artsrige og talrige pattedyr på jorden. De holder insektbestande i skak, bestøver træer og blomster og sørger for at sprede frø over store afstande. Deres store geografiske udbredelse og alsidighed skyldes deres evne til både at kunne flyve og at kunne bruge deres højfrekvente stemmer og ører til at finde vej og at jage i en proces, vi kalder ekkolokalisering. Når de jager, udsender de meget kraftige ultralydskald og lytter bagefter til de svage ekkoer, der sendes tilbage fra et insekt nogle få millisekunder senere. Ekkoerne fortæller flagermusen, hvor deres bytte er, og hvor stort det er. Ved at ændre på sine kald kan en flagermus skaffe informationer fra vidt forskellige omgivelser, og de har over flere milli-

oner år derfor kunnet tilpasse sig en bred vifte af forskellige økologiske nicher fra skov til ørken til steppe.

Fordi flagermus er små, hurtigt-flyvende og aktive om natten, er de meget svære at studere i det fri, og vi ved derfor meget lidt om deres liv i mørket. I mange år har forskere prøvet at forstå deres adfærd i naturen ved at sætte kameraer eller mikrofoner op ved deres levesteder og optage nogle få sekunder af deres adfærd, når de hurtigt flakser forbi. Men sådanne metoder giver kun et øjebliksbillede af, hvad flagermusen foretager sig på lige det sted, hvor vi biologer optager dem.

Den teknologiske udvikling har dog nu gjort det muligt at udvikle små mikrocomputere kombineret med

en mikrofon, et accelerometer og et magnetometer, som vi kan sætte på ryggen af frit-flyvende flagermus. På den måde har vi populært sagt sensorisk kunnet sætte os til rette på ryggen af en vild flagermus og direkte måle, hvordan den ekkolokaliserer, mens den finder vej og jager byttedyr i mørket over en hel nats jagt. Det har givet os en unik mulighed for at svare på vigtige biologiske spørgsmål om en så talrig og udbredt gruppe af små rovdyr, der i stigende grad er under pres fra menneskelig aktivitet.

## Flagermus synkroniserer lyd med udånding

For at være effektive jægere skal flagermus kalde meget kraftigt for at maksimere størrelsen af det luftvolumen, hvori de kan høre ekkoer



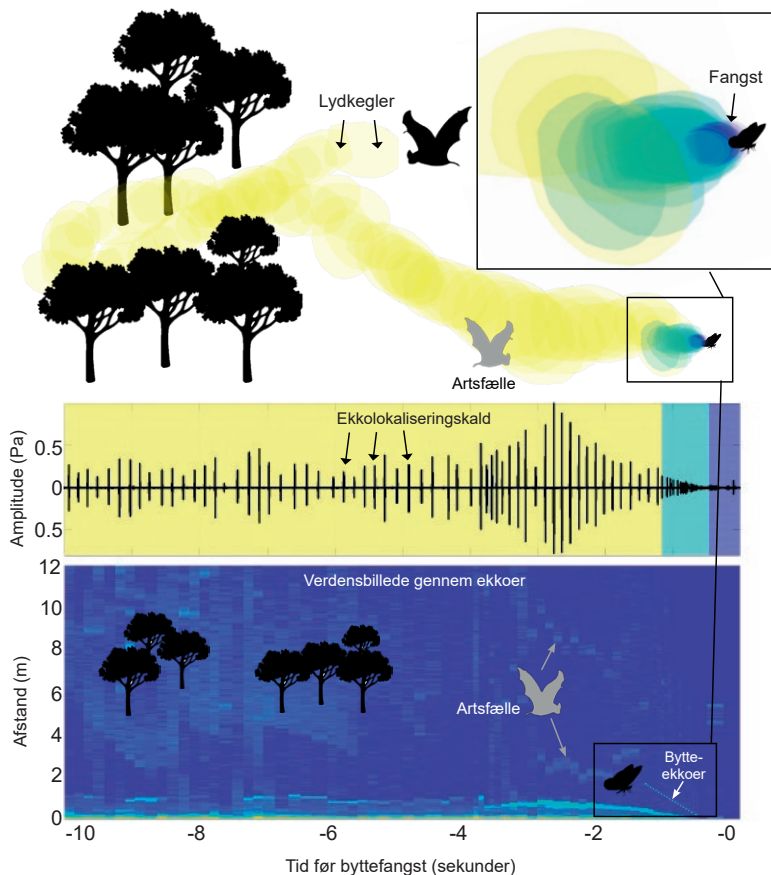
fra en flyvende natsværmer. Ved at kalde kraftigt kan de nemlig række længere ud i nattermørket med deres ekkolokalisering, fordi lydkeglerne foran flagermusen bliver store. Lydkeglerne kan derfor forstås som lygterne på en bil, som lyser vejen op i mørke: Jo kraftigere lygter, jo længere ud oplyses vejen.

I løbet af én nat gennemsøger de i alt et rumfang på 20.000 m<sup>3</sup>, som svarer til cirka otte olympiske svømmebassiner for at skaffe føde nok. Men produktionen af så høje lyde kan være svært og energetisk dyrt for så lille et dyr. Derfor kobler flagermus rytmisk deres kraftige kald til udåndingen, som samtidig er synkroniseret med deres vingeslag. På præcis samme måde, som vi mennesker kobler vores respiration til vores bevægelser under en løbetur. Det giver dem mulighed for at kalde meget kraftigt på en billig måde.

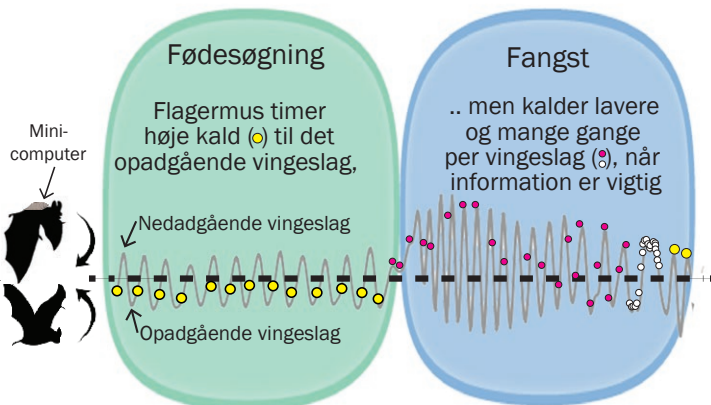
Til gengæld bryder de denne kobling mellem vingeslag, udånding og kald, når de efter at have opdaget et byttedyr skal jage det. For at holde styr på, hvor byttedyret er, kræves mange, men svagere kald per vingeslag. I vores studier har vi vist, at lige inden flagermus fanger deres bytte, kalder de så svagt, at de næsten hvisker. En strategi, som giver dem mulighed for at få en høj opdateringsrate på, hvor byttedyret er, og som gør den sansede verden meget lille ved, at volumen af den benyttede lydkegle bliver tusinde gange mindre end i søgefassen.

### Akustisk tunnelsyn

Det kan umiddelbart virke som en dristig strategi at flyve 10 km/t og kun kunne sanse en halv meter frem. For at forstå årsagen bag denne akustiske adfærd rekonstruerede vi hele flagermusens sensoriske verden ved at omdanne alle ekkoner til et billede, som vi kalder et ekkogram. På et ekkogram kan vi spore de strømme af ekkoner, der returneres fra byttet og fra omgivelserne. Det svarer til at filme alt det, som forlygterne på en bil lyser op – direkte fra førersædet.



Vi kan rekonstruere flagermusens bevægelsesmønstre og sensoriske verden, mens den fanger byttedyr i luften. Det giver os mulighed for at forstå, hvordan de bruger ekkolokalisering til at jage. Her kan det ses, at flagermusens sensoriske verden bliver meget mindre og simplere lige inden fangsten (sort firkant), fordi alle andre ekkoner end byttedyrs-ekkoerne forsvinder. Flagermus har altså udviklet en form for akustisk tunnelsyn, som gør dem til effektive jægere i forskellige omgivelser.



Flagermus timer deres kald til vingeslagene for at kalde kraftigt, når de skal lytte langt med deres sonar for at maksimere chancen for at finde et byttedyr. Det koster dem ikke noget at kalde så kraftigt, fordi lydproduktionen drives af deres udånding timet med vingeslagene. Under fangsten kalder de derimod hurtigt og ineffektivt for at få flest mulige opdateringer om, hvor byttedyret befinder sig. Men fordi disse hurtige fangstkald er svage og kun udgør 2 % af det samlede antal kald udsendt på en nat, er ekkolokalisering derfor energimæssigt relativt billigt.

Til vores overraskelse fandt vi ud af, at flagermusen modtager ekstremt svage ekkoner fra byttet.

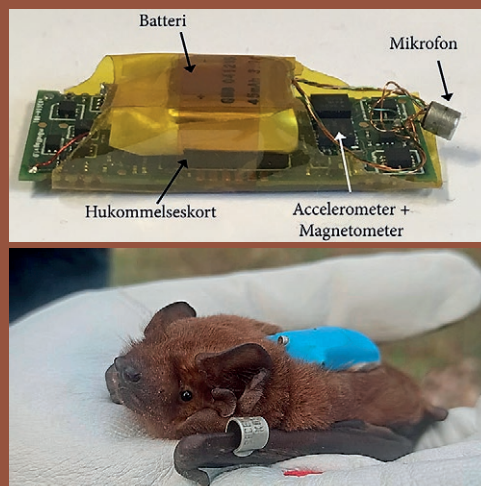
Men hvorfor skruer flagermus så

meget ned for deres kald, når de kunne få tydeligere ekkoner ved at kalde højere? Det viser sig, at denne strategi kortvarigt gør deres verden meget enklere ved at

## Mikrocomputere til flagermusforskning

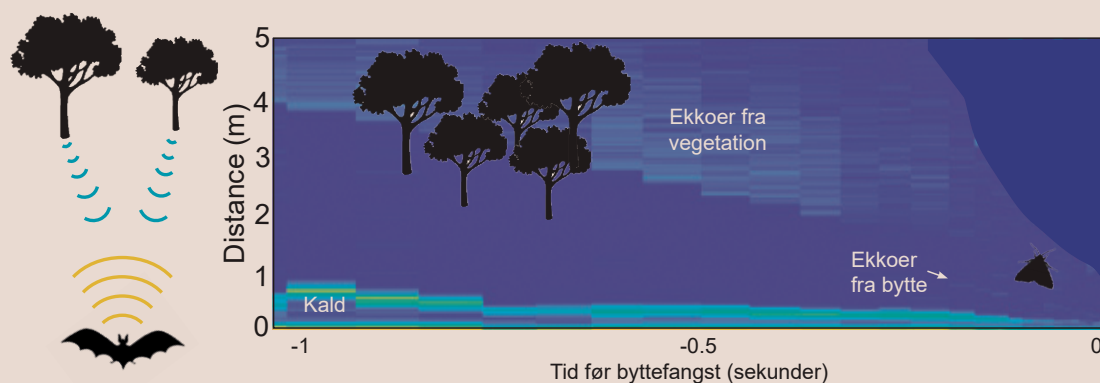
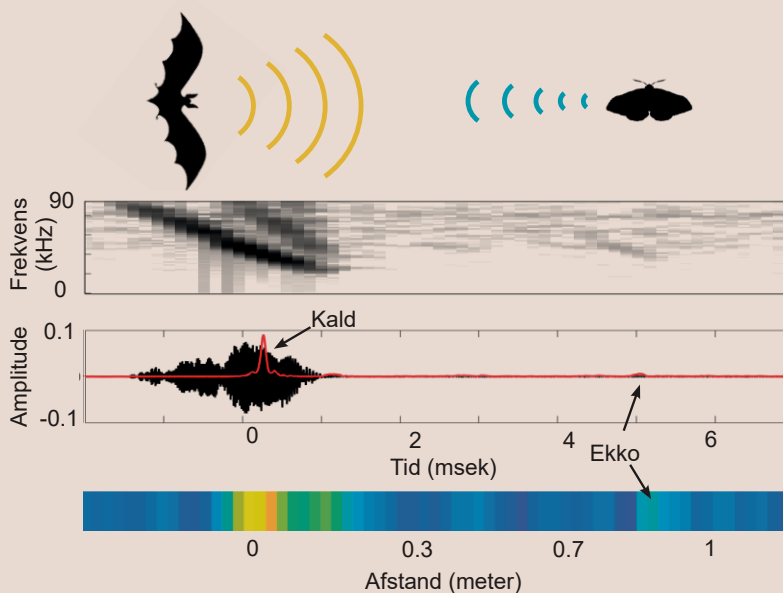
Vi har med støtte fra en Semper Ardens bevilling fra Carlsberg Fonden udviklet en miniaturecomputer, som kan optage dyrenes lyde med en mikrofon og deres bevægelser med et accelerometer og et magnetometer. Mikrofonen optager ultralyd og er meget følsom. Den kan derfor optage både de kald, flagermusen udsender, og samtidig de ekkoer, den får tilbage fra dens omgivelser eller byttedyr. Mikrocomputeren vejer cirka 2 gram og kan optage en hel nats aktivitet. Disse computere har været udsat på fire forskellige arter af flagermus i Bulgarien, Tyskland og Spanien. Resultaterne i denne artikel er baseret på et studie fra Bulgarien på en af Europas største flagermus, Stor museøre (*Myotis myotis*).

Stor brunflagermus sættes fri med en mikrocomputer på ryggen. Efter få dage i det fri fanges flagermusen igen ved hjælp af radiosignaler udsendt fra computeren. Foto: Laura Stidsholt



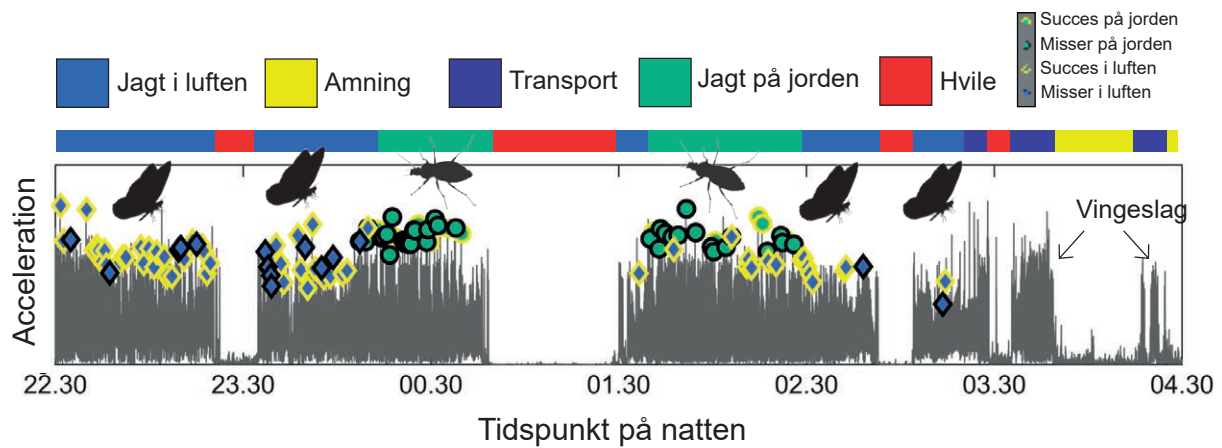
## Ekkolokalisering

Flagermus udsender kraftige ultralydskald og lytter efter ekkoer fra vegetation eller fra et potentielt bytte. Ved at sammenligne forskellene mellem det udgående kald og det returnerede ekko kan flagermus få information om, hvor stort byttet er, og hvor det befinder sig. For at forstå denne eksotiske sans omsætter vi lydstrømmen fra kald til kald til en farvet bjælke (nederst), hvor de kraftigste lyde markeres i gul, mens de svageste ekkoer markeres i lyseblå. Ved at sætte alle bjælkerne sammen for hvert kald kan vi give et visuelt bud på flagermusens lydverden, mens den jager. Det billede kalder vi et ekkogram og minder om skærmen på et skibs ekkolod.



Ekkogrammet er en måde at visualisere et ekkolokaliserende dyrs sensoriske verden, mens det flyver (eller svømmer) rundt i det fri. Hver lodret bjælke i ekkogrammet svarer til et kald (gul) samt alle ekkoer, der returneres fra det kald (det blå område). Det gør os i stand til at følge ekkoerne fra de samme objekter i flagermusens omgivelser fra kald til kald. De kraftige ekkoer, der starter på fire meters afstand, er fra vegetation. Det fortæller os, at flagermusen leder efter sit byttedyr tæt på store træer. Vi kan også se den sensoriske strøm fra byttedyret, som detekteres af flagermusen på omkring en meters afstand og cirka 200 millisekunder, inden det er fanget.



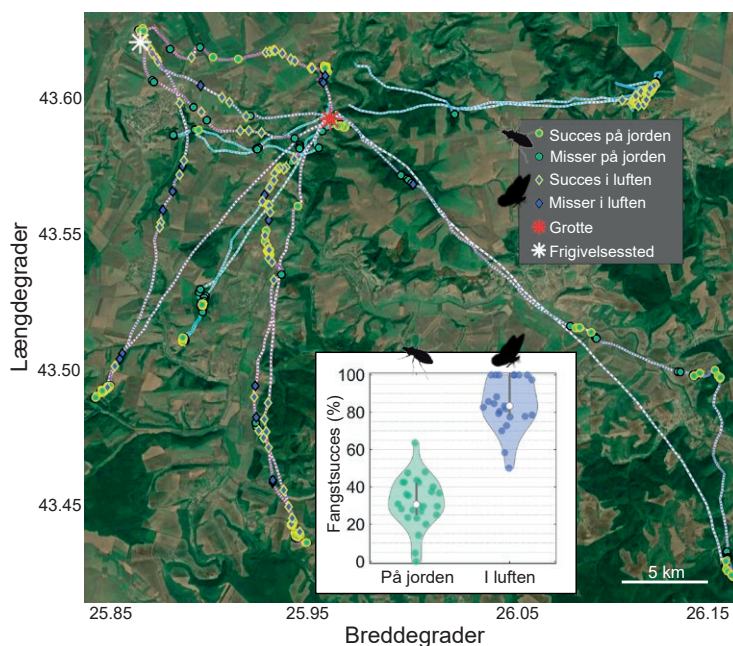


En nats aktivitet for en flagermus af arten Stor museøre (*Myotis myotis*). Når de ikke fanger mad i luften (lyseblå) eller på jorden (grøn), bruger de resten af tiden på at transportere sig frem og tilbage (mørkeblå), hvile i grotten med deres unger (gule) eller fordøje deres måltider og slappe af uden for grotten (orange).

begrænse støjende ekkoer fra omgivelserne, og derfor fungerer som en akustisk udgave af et tunnelsyn. De sørger altså derfor for kun at bruge deres opmærksomhed på det vigtigste – byttedyrsekkoerne – også selvom de som en konsekvens bliver utroligt svage. Denne strategi med at snævre deres sensoriske verden ind under fangsten kan derfor ses som en tilpasning til at jage tæt på vegetation, hvor der ofte er større koncentrationer af byttedyr end ude i de frie luftmasser.

### Imponerende træfsikkerhed

Men næsten mere imponerende er det, at flagermusene i mørke udfører hele dette jagtmønster fra detektion til fangst på under et halvt sekund! De skal altså være lynhurtige til både at kalde og at koordinere deres bevægelser, og der er derfor meget lidt tid til at træffe beslutninger: de kører efter devisen “Skyd først, spørg bagefter”. Det er årsagen til, at nogle læsere måske har oplevet at kunne få en flagermus til at angribe en sten kastet op i luften. De har altså så kort tid til at reagere på et ekko fra et potentielt byttedyr, at de ikke er gode til at kende forskel på små ting i luften, som kaster ekkoer tilbage. Fordi de skal være så lynhurtige til at fange bytte, kom det derfor bag på os, at flagermusene generelt kun missede et insekt én ud af hver fem fangstforsøg. Det betyder, at de har en træfsikkerhed på omkring 80 % i luften, langt højere end dyr, som vi ellers forbinder med



Syv flagermus jager efter føde i luften eller på jorden. Deres fødeindtag og fangst-succes kan bestemmes ud fra data indsamlet fra mikrocomputeren ombord på flagermusene. De flyver op til 40 km i løbet af natten for at nå ud til specifikke fødeområder, som typisk er marker eller skovområder.

at være dygtige jægere såsom en gepard (60 %), en vandrefalk (50%), en løve (25 %), eller en tiger (5 %). Flagermus er faktisk kun overgået af ekkolokaliserende marsvin, som et tidligere studie fra Aarhus Universitet har vist sig at fange fisk i op til 90 % af tilfældene. Flagermus er altså blandt nogle af verdens mest effektive jægere. Det viser, at ekkolokalisering er en sans, som evolutionært har givet rovdyr en stor fordel: byttedyrene ved i de fleste tilfælde ikke, at et rovdyr er på vej i mørket, fordi byttet oftest ikke kan høre de ultralyde, som rovdyrerne

bruger, eller bliver advaret for sent til at kunne nå at komme i sikkerhed. I Danmark kan vi derfor bryste os af at have to af verdens mest effektive jægere enten i baghaven eller ude til havs.

### Cirka 60 insekter per nat

Som små og flyvende pattedyr har flagermus – når de er aktive – et meget højt stofskifte per kropsvægt. Udover at betale for en nats flyvning på ofte over 20 km skal jagten også være så succesfuld, at den over en sommersæson skal kunne spare fedt nok sammen til en lang vinter i

## Fødetyper og økologiske roller hos flagermus

### Nektar og pollen:

Mange arter af flagermus lever udelukkende af at drikke nektar eller spise pollen specielt i troperne. Her står de får at bestøve mere end 500 arter af træer og blomster; hvoraf mange er vigtige for os som afgrøder eller som træ til tømmer. Flagermusene drikker nektaren ligesom kolibrier ved at stå næsten stille i luften ved hjælp af super-hurtige vingeslag og en lang, tynd tunge, som for en enkelt art er op til halvanden gang længere end kroppen. Faktisk har nogle tropiske blomster igennem evolutionen udviklet sig til ligefrem at lokke flagermus til sig ved at tilbagekaste specielle ekkøer, som flagermusene kan genkende og bruge som ledestjerne.



*Glossophaga soricina*. Foto: Ryan Somma/CC by-SA 2.0

### Blod:

Kun 0,2 % af flagermusarterne drikker blod, men de har alligevel taget langt den største opmærksomhed i populærkulturen. De lever kun i Syd- og Mellemamerika og drikker typisk blod fra sovende husdyr, som de finder frem til ved hjælp af varmesensorer omkring næsen. De kan blive op til 12 år gamle og indgår i livslange relationer selv med individer, som de ikke er genetisk relaterede til.



Vampyrflagermusen *Desmodus rotundus*. CC by-SA 4.0

### Frugt:

Frugtspisende flagermus spiser mange forskellige slags frugter og spiller derfor vigtige økologiske roller både til at vedligeholde bestande af træer, men også til at sprede frø til nye områder eller efter skovbrande. De bruger typisk synet til at finde modne frugter og ekkolokalisering til at finde vej. De største flagermus tilhører denne gruppe og kan have et vingefang på op til 1,7 meter. Nogle arter kan migrere op til flere tusind kilometer, og faktisk er klodens største pattedyrsmigration en flagermusart (*Eidolon helvum*), som lever på det afrikanske kontinent.



*Eidolon helvum*. Foto: Konrad Bidziński/CC by-SA 4.0

### Insekter:

Hovedparten af flagermus spiser insekter, som de enten fanger i luften med ekkolokalisering eller ved at samle dem op fra jorden eller fra vandoverfladen. De fungerer derfor også som glimrende skadedyrsbekæmpelse i områder med landbrug, hvor de årligt er estimeret til at spare landmænd for omtrent 1 milliard dollars og mange tons pesticider. 1/4 af Danmarks pattedyrsarter er flagermus (17 arter), som alle er insektædere og totalt fredede.

### Hvirveldyr:

I løbet af omtrent 65 millioner års udvikling har nogle få flagermusarter udviklet smag for andre hvirveldyr såsom fugle, fisk, andre flagermus, frøer og firben. Disse flagermus har udviklet specielle kæbemuskler til at kunne slå deres bytte ihjel med deres tænder. Men tænderne minder ikke om andre kødspisende rovdyrs spidse tænder, idet de ikke tygger deres bytte, men sluger dem med skind og ben.



Brunflagermusen (*Nyctalus noctula*) er Danmarks største flagermuseart. Foto: Ján Svetlík/ CC BY-NC-ND 2.0





Man kan finde Stor museøre i kolonier i kalkstensgrotter i Sydeuropa blandt tusindvis af andre artsfæller. De spiser insekter og har meget få naturlige fjender. Til gengæld er de truet af menneskelige aktiviteter såsom lys- og støjforurening samt ødelæggelse af deres levesteder. Foto: Stefan Greif

hi uden fødeindtag. Så hvor mange og hvor store insekter fanger en flagermus så på en sommernat for at dække deres høje energiforbrug? For at svare på det spørgsmål har vi lyttet gennem samtlige natlige optagelser fra mikrocomputerne for at detektere tyggelyde, fordi det fortæller os, hvorvidt en jagt er succesfuld, og hvor stort et bytte, der er fanget. Målinger på trænede flagermus viser, at jo længere tid, flagermusene tygger, jo større et byttedyr har de fanget.

Vores målinger viser, at stor museøre fanger omtrent 60 insekter per nat: Den ene halvdel er små natsværmere i luften, mens den anden er store biller på jorden, som de fanger ved at lytte efter billernes puslen under blade, præcis som når en ugle fanger mus. Ved at kigge på GPS-positioner undervejs i jagten kan vi undersøge, hvornår og hvorfor flagermusen vælger en af de to strategier: jagt i luften med ekkolokalisering eller på jorden ved at lytte passivt.

Stor museøre fanger primært biller fra jorden på helt specifikke jagtmarker, som de ikke deler med an-

dre flagermus i løbet af natten. Men de er rigtig dårlige til at fange billerne på jorden sammenlignet med i luften: Deres træfsikkerhed falder til omtrent 30 %. Det skyldes, at biller på jorden kan gemme sig under kviste eller i sprækker i jorden, hvor flagermus ikke har en chance for at fiske dem ud. Lige så akrobatiske flagermus er i luften, ligeså meget på udebane er de som rovdyr på jorden. Til gengæld får flagermusene et stort måltid, når de endelig fanger en bille på jorden. Men fordi deres træfsikkerhed er så lav, skal der ikke meget til, før det bedre kan betale sig for flagermusen at skifte strategi og lede efter natsværmere i luften i stedet for. Vi kan vise, at hvis det har regnet eller miljøet ændrer sig markant i løbet af en nat, så skifter alle flagermusene pludselig til at fange bytte i luften. Denne strategi er nemlig mere modstandsdygtig over for ændringer i miljøet, og de bruger den derfor som en alsidig og mere træfsikker jagtstrategi.

### Fremtiden for flagermus

I takt med, at vi som mennesker spreder os over større områder, betaler dyrene og vores øvrige natur

prisen for vores aktiviteter. På trods af, at flagermus lever over hele kloden og udgør omtrent 25 % af alle pattedyrsarter i hele verden, optræder omtrent en femtedel af dem i dag på IUCN's rødliste og er derfor truede. Flagermus er blandt andet under pres, fordi deres levesteder indskrænkes, insektbestande falder, og fordi de slås ihjel af mennesker, som frygter dem eller anser dem for skadedyr. Her kan data om vilde flagermus være nøglen til at beskytte dem i fremtiden. Hvis vi ved, hvor tit og hvor højt flagermus kalder, kan vi tælle dem ved at sætte lydoptagere ud i naturen. Hvis vi ved, hvor de søger føde, kan vi bedre beskytte vigtige habitater. Hvis vi ved, hvad og hvor meget de spiser, kan vi estimere deres rolle i økosystemerne og sørge for at beskytte de nødvendige ressourcer i deres levesteder. Vi håber derfor, at vores forskning med mikrocomputerne på længere sigt kan bidrage til at beskytte disse fascinerende og økologisk betydningsfulde rovdyr, som lydløst skriger natten lang for at skaffe føde og derigennem sikrer stabilitet i mange økosystemer verden over. ■

### Videre læsning

Artikler:  
Stidsholt et al (2021): *Wild bats briefly decouple sound production from wingbeats to increase sensory flow during prey captures*, iScience 24, (8), doi.org/10.1016/j.isci.2021.102896

Stidsholt et al (2021): *Hunting bats adjust their echolocation to receive weak prey echoes for clutter reduction*, Sci. Adv., 7 science.org/doi/10.1126/sciadv.abf1367

Stidsholt L., et al (2018), *A 2.6 gram sound and movement recording tag for studying the auditory scene and kinematics of echolocating bats*, Methods in Ecology and Evolution 1-11, doi.org/10.1111/2041-210X.13108

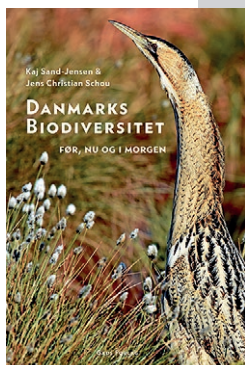
Bøger:  
Simmons and Fenton (2015): *A World of Science and Mystery*, The University of Chicago Press

Tuttle (2018): *The Secret Lives of Bats - My Adventures with the World's Most Misunderstood Mammals*, Houghton Mifflin

Se også siderne:  
marinebioacoustics.com  
Twitter: @BioacousticsAU  
www.facebook.com/marinebioacoustics

# BØGER

## FAKTA

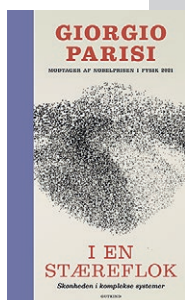


Kaj Sand-Jensen & Jens Christian Schou: *Danmarks Biodiversitet – før nu og i morgen*. Gads forlag 2022. 240 sider, 249,95 kr.

### Danmarks biodiversitet - Før, nu og i morgen

Biodiversiteten er i dyb krise på grund af voldsom mangel på plads til naturen og dens udfoldelse. Men de fleste har næppe tænkt dybere over, hvad biodiversitetskrisen egentlig indebærer, og hvad det kræver at kurere den. Det er fugle og dyr, fisk, insekter og planter, der tilsammen skaber den biodiversitet, vi møder hjemme i haven og ude i det åbne land, i skovens dybe stille ro, ved åens bredder og langs stranden ud til havet. Og det er denne brogede variation af levesteder og frodige mangfoldighed af arter i forskellige former, farver og adfærd, som *Danmarks biodiversitet* handler om. Bogens forfattere fortæller om udviklingen gennem de seneste 200 år, hvor biodiversiteten er havnet i en alvorlig krise, fordi vi ikke levner den plads i naturen. Men bogen giver også sit bud på, hvad der skal til for at skabe fremgang for alle Danmarks arter og dermed mulighed for enestående naturoplevelser – også i fremtiden.

## FAKTA



Miorgio Parisi: *I en stæreflok – skønheden i komplekse systemer*. Gutkind 2022. 128 sider, 199,95 kr.

### I en stæreflok

Italienske Giorgio Parisi, der modtog Nobelprisen i fysik i 2021, fortæller i bogen *I en stæreflok* om et liv i naturvidenskabens verden, om menneskets undren og søgen efter svar og om fysikkens særlige skønhed. Han reflekterer over, hvordan ideer fødes og ændrer kurs og form, over videnskabens rolle i nutidens samfund og hvordan matematisk intuition kan lede til svar på spørgsmål, ingen endnu har stillet.

## FAKTA

Johan Rockström & Owen Gaffney: *Klodens grænser – viden om vores verden*. Informations Forlag 2022. 242 sider, 299,- kr.



### Klodens grænser

Forskerne Johan Rockström og Owen Gaffney undersøger i bogen *Klodens grænser* det dramatiske tab af klodens biodiversitet og de afgørende grænser for Jordens bæredygtighed. I bogen identificerer forfatterne sammen med en række førende forskere ni planetære grænser for klodens forandringer. Hvis vi skal bremse op, før grænserne overskrides, skal vi i 2020'erne finde en ny kurs for vores fremtid. Forfatterne fremlægger i bogen en vision for "planetær varetægtelse" og viser, hvordan forandring er mulig.

## FAKTA

Morten D.D. Hansen og Rikke Hyldgaard: *Insekternes Bog*. Politikens Forlag 2022. 288 sider, 300,- kr.



### Insekternes bog

Med Morten D.D. Hansen som guide dykker vi i *Insekternes bog* ned i insekternes forunderlige liv. Undervejs fortæller Morten D.D. Hansen om, hvordan vores natursyn ændrer sig i disse år, fra et nyttigt til et unyttigt. Han tager os både på tur gennem naturhistorien og Mols Bjerge og forklarer, hvorfor det er på høje tid at tage vare på mangfoldigheden – og skønheden ikke mindst. Ikke fordi vi skal, men fordi vi kan. *Insekternes Bog* er en bog om altings samhörighed, en kræklighedsreklæring til insekter og en længsel efter at genfortrylle verden. Det er en fortælling om det vidunderlige spektakel, der foregår lige uden for din dør og under dine skosåler – og som du kan få øje på, hvis bare du tager dig tid.



# Fejlretning med bivirkninger

Sensorer bygget på kvanteprincipper er ofte bedre end deres klassiske slægtninge til at måle elektriske eller magnetiske felter eller måle størrelser som temperatur eller tryk. Der er dog den udfordring, at de kvanteeffekter, der giver kvantesensorer deres høje følsomhed, meget let bliver forstyrret af støj fra omgivelserne. Denne støj kan gøre kvantesensorenes målinger unøjagtige, og derfor er der formuleret såkaldte QEC-protokoller (QEC står for Quantum Error Correction), der eliminerer støjen på hvert trin af måleprocessen. Det kan sammenlignes med konstant at korrigere kursen for et skib, som sejler gennem uroligt hav.

Forskere fra ETH Zürich i Schweiz og Massachusetts Institute of Technology i USA har dog nu i tidsskriftet *Physical Review Letters* vist, at disse korrektioner med QEC-protokoller i sig selv kommer med en pris, der i værste fald kan gøre målingerne



Foto: Freepik.com

upålidelige. Forskerne har konkret studeret et eksempel, som involverer implementeringen af en QEC-protokol i en procedure for at måle et elektromagnetisk signal ved at bruge et system af mange identiske kvantebits (qubits), men de demonstrerer samtidig

i artiklen, at deres resultater vil gælde generelt for kvantesensorer. Forskerne fandt, at implementeringen af QED-protokollen gav anledning til en systematisk bias i sensorens udlæsninger, som betyder, at alle sensorens udlæsninger vil være noget upræcise og måske endda urealistiske. Yderligere vil denne bias kunne lede til overoptimistiske estimater for det minimale signal, sensoren i udgangspunktet er i stand til at måle.

Forskerholdet kommer også med forslag til, hvordan denne sideeffekt kan afhjælpes – nemlig ved at tage højde for den QEC-inducerede bias fra start. Hvis man har fuld informa-

tion om, hvor hurtigt korrektionerne med QEC foregår, og hvor stærk støjen er i det system, man måler på, kan man bestemme størrelsen på fejlen og på den måde lave en slags rekalibrering af sensoren.

CRK, Kilde: *Physics World/Phys. Rev. Lett.* 128, 140503

## SOS - kære gymnasielærer: IT-branchen mangler kvinder

For at inspirere unge piger til at vælge en karrierevej inden for IT, tech og software, har vi i samarbejde med House of Code, Hesehus og Universal Robots udviklet en række gratis workshops i Odense i 2022. Her kan deltagerne smage på, hvad kunstig intelligens er, hvordan man koder en hjemmeside, bygger et computerspil og meget andet. Tilbuddene ligger i tidsrummet 17-19, og pizza er inkluderet.

IT er for alle, og det er afgørende at kvinders stærke og komplekse hjerner også kommer i spil, når vi udvikler verdensændrende teknologier, software, innovation m.m.

Så spred budskabet til dine kvindelige elever, din datter, din niece m.fl. og hjælp med at skabe mere diversitet inden for STEM-området.

For mere information og tilmelding [www.sdu.dk/gogirls](http://www.sdu.dk/gogirls)

Ved spørgsmål, tøv ikke med at kontakte os på:

65 50 73 34 eller [mhoy@tek.sdu.dk](mailto:mhoy@tek.sdu.dk)

# SubUniversity

GIV DINE ELEVER EN MENTOR  
OG LAD DEM OPLEVE  
UNIVERSITETET INDEFRA

**LAD DINE ELEVER BLIVE KLOGERE PÅ LIVET SOM STUDERENDE  
MED EN UNIVERSITETSSTUDERENDE SOM MENTOR**

## DET SIGER ELEVERNE OM SUBUNIVERSITY

**95 % af eleverne ville anbefale SubUniversity**

**88% føler sig mere afklaret i forhold til at skulle træffe  
et studievalg**



"Jeg har set, at universitetet slet ikke er så skræmmende som jeg troede"

- elev fra Ikast-Brandø Gymnasium, 2020/2021



"Det har givet mig mere blod på tanden til at læse på universitetet og jeg er blevet mere afklaret med, hvad der er noget for mig"

- elev fra Midtbyens Gymnasium, 2020/2021



"Jeg ved hvilken retning jeg vil gå i nu, og mine mentorer har været vildt gode til at vise, hvordan en hverdag er når man er studerende"

- elev fra Tradium, 2020/2021

## HVAD FÅR JERES ELEVER UD AF AT DELTAGE?

Alle elever inddeles i mentorgrupper som tildeles to universitetsstuderende som mentorer. De to mentorer er med til at lede eleverne på vej, og eleverne kommer helt tæt på mentorerne.

Med mentorerne har eleverne mulighed for at komme 360 grader rundt om livet som studerende. I løbet af dagsseminarerne mødes eleverne i deres mentorgrupper.

Her får eleverne mulighed for at snakke om livet på SU, se eksempler på hvordan en uge kan hænge sammen og vende deres fordomme om universitetslivet, hvilket bidrager til elevernes læring og afklaring omkring valg af studie.

Imellem dagsseminarerne er eleverne løbende i kontakt med mentorerne gennem sociale medier.

Alle mentorer gennemgår et mentorkursus særligt for SubUniversity inden de møder eleverne til det første dagsseminar.

## KONTAKT

Du kan læse mere om SubUniversity på [au.dk/subuniversity](https://au.dk/subuniversity)  
eller kontakte koordinator Laura Munk Petersen  
på [lmunk@au.dk](mailto:lmunk@au.dk), tlf.: 93521594



Instagram  
[@subuniversity](https://www.instagram.com/subuniversity)





## Undervisningsmaterialer

Find dem på [AktuelNaturvidenskab.dk](http://AktuelNaturvidenskab.dk)

### Søvn og kognition

Dette materiale er en vejledning til en elevdesignet undersøgelse af søvnens betydning for kognitive funktioner. Undersøgelsen kan benyttes på alle niveauer af biologi samt bioteknologi, hvorved den fagfaglige ramme og omfang justeres efter niveauet. Undersøgelsen kan også være en del af tværfaglige forløb. Forudsætningen er gennemgang af den naturvidenskabelige metode.

Øvelsen knytter an til emnet søvn, som Birgitte Rahbek Kornum fortalte om i foredraget "Den sovende hjerne" i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Artiklen "Narkolepsi – når søvnen bliver slået i stykker" i dette nummer ligger i naturlig forlængelse af dette foredrag og dykker mere specifikt ned i Birgitte Rahbek Kornums forskning i sygdommen narkolepsi.

### Arbejdsark - ekkolokalisering og parkeringssensor

Ligesom flagermus udsender ultralyd til ekkolokalisering, kan man i biler også udnytte denne teknik. En del biler er udstyret med parkeringssensorer som anvendes til at bestemme afstanden til andre genstande. Arbejdsarket indeholder opgaver til at regne på brug af en parkeringssensor ved hjælp af hhv. lyd og radar.

Arbejdsarket knytter an til artiklen *På nattejagt med vilde flagermus* i dette nummer af Aktuel Naturvidenskab, som bygger på et foredrag om flagermus ved Peter Teglberg Madsen i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab. Materialet kan også bruges i forbindelse med artiklen *Sære sanser* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2021.

Målgruppe: Fysik C/B-niveau

Forudsætninger: Kendskab til begreberne frekvens og refleksion samt lydens udbredelseshastighed. Arbejdsarket kan bruges i forbindelse med et forløb omkring bølger.

Undervisningsmaterialerne er udarbejdet i forbindelse med projektet *Brobygning på første række* finansieret af Novo Nordisk Fonden.

## ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon:

8715 2094 / 3036 0662

E-mail: [abo@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:abo@aktuelnaturvidenskab.dk)

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

### Til nye abonnenter:

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

## OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

### Styregruppe

- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jane Thoning Callesen**, communication manager, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, kommunikationskonsulent, Roskilde Universitet
- **Mikkel Linnemann Johansson**, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **David Lundbek Egholm**, prodekan ved Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 5.000



### Redaktionsgruppe

- **Sune Holst**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Michael Skov Jensen**, Københavns Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

### Redaktionen:

Telefon: 8715 2094 / 3036 0660 / 3036 0662

E-mail: [red@aktuelnaturvidenskab.dk](mailto:red@aktuelnaturvidenskab.dk)

Hjemmeside: [aktuelnaturvidenskab.dk](http://aktuelnaturvidenskab.dk)

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

### Omslagsfoto:

En søgurk på oceanbunden indsamles med robotarmen på et fjernstyret fartøj. Foto: ROV-Team-GEOMAR.

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

# Ældgammelt krater forklædt som ungt

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

For nylig læste jeg, at det er lykkedes at datere det 31 kilometer brede og 300 meter dybe Hiawatha-krater i Grønland. Og så tænke jeg umiddelbart, at resultatet måtte have gjort Nicolaj Krog Larsen noget skuffet. For tilbage i 2020 bragte vi i Aktuel Naturvidenskab en længere artikel om Nicolajs forskning, hvor han udtrykte det håb, at de på det tidspunkt forestående undersøgelser af kraterets alder ville vise, at det er meget ungt – det vil sige knap 13.000 år. Men nu er resultaterne kommet, og de viser, at krateret er meget ældre: cirka 58 millioner år.

Jeg kontakter derfor straks Nikolaj, som er professor ved Københavns Universitet, for at høre, hvor skuffet han egentlig er.

## Et perfekt udgangspunkt

»Jeg er faktisk slet ikke skuffet,« kan Nikolaj afsløre. »Vi har nu en meget præcis alder på krateret – 58 millioner år plus minus 300.000 år – og med to uafhængige dateringsmetoder. Det giver os et perfekt udgangspunkt for at undersøge, hvilken effekt dette kæmpestore meteoritnedslag havde på datidens dyreliv og klima.«

Nicolaj Krog Larsen var selv med til at opdage Hiawatha-krateret tilbage i 2015, og forskerne fandt flere tegn på, at det meget velbevarede krater under Indlandsisen kunne være meget ungt. Og hvis det som mistænkt kun var knap 13.000 år gammelt, ville det være meget interessant. For så kunne meteornedslaget være en forklaring på en cirka 1200 år lang nedkøling af Jorden kendt som Yngre Dryas, som skete på det tidspunkt. For at afklare sagen indsamlede forskerne med stor nidkærhed materiale fra krateret, som kunne associeres



K. H. Kjær Indsamler prøver af smeltevandssand foran Hiawatha gletscheren. Sandet, som gletscheren har ført med sig fra bunden af meteorkrateret, har givet en rigdom af oplysninger om meteornedslaget. Foto: S. Funder.

med meteornedslaget. På Statens Naturhistoriske Museum i København daterede Michael Storey sandkorn ved hjælp af såkaldt argon-argon-datering, mens Gavin Kenny fra Det Naturhistoriske Museum i Stockholm daterede prøver af mineralet zircon. Med begge dateringsmetoder havnede uret meget præcist på 58 millioner år.

## Meteoritnedslag og massedød

»Meteoritnedslag er spændende, blandt andet fordi de potentielt kan have store konsekvenser for livet på Jorden,« fortæller Nicolaj. »Men store meteoritnedslag er også meget sjældne, så vi forskere er selvfølgelig begejstrede, når vi opdager et nyt krater, fordi vi så kan teste, om det er tidsmæssigt sammenfaldende med kendte episoder af masseuddøen i Jordens historie.«

Umiddelbart er der dog ikke noget særligt dramatisk at berette om netop tiden for omkring 58 millioner år, kan Nicolaj fortælle.

Men han er nu sammen med sine kolleger i gang med at se nærmere på kendte aflejringer fra den tid for at se, om disse bærer spor, der kan kædes sammen med et meteoritnedslag. Således har forskerne for nylig været på feltarbejde i Italien for at indsamle prøver fra en cirka 56-60 millioner år gammel lagserie.

»Det kan sagtens være, at vores kommende undersøgelse vil vise, at vi ikke kan se nogen synderlig effekt af meteornedslaget på datidens klima og dyreliv. Og selv om det jo vil være mindre spektakulært end en verdensomspændende katastrofe, vil det også være et meget interessant resultat. For det vil i så fald vise, at Jorden godt kan klare et slag fra en kæmpestor meteorit uden andet end lokale ødelæggelser,« slutter Nicolaj Krog Larsen. ■

Videnskabelig artikel: *Science Advances*, DOI: 10.1126/sciadv.abm2434. Meteorkrater i Grønland kan fortælle om klima. AN nr. 4/2020.