



NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
*natur*VIDENSKAB

BLÆKSPRUTTER

SOM MAD

Når vandloppen gør algen GIFTIG
BIG DATA – faldgruber og etiske dilemmaer
NATURVIDENSKAB i kødpakken

NR. 3 - 2018 JULI : 50 KR.

Open Science baner vejen for ny type samarbejde

Forestillingen om kringlede kontrakter og tunge systemer kan være en showstopper for mere samarbejde mellem universiteter og erhvervsliv, som samfundet ellers kunne få glæde af. Et svar på denne udfordring er det traditionelle erhvervssamarbejdes livlige lillebror: Open Science.

Krydsfeltet mellem industri og universitet er et godt sted at tænke stort og skabe helt ny viden. Når forskningsområder har både grundvidenskabelig karakter og industriel interesse, er der potentiale for at gøre opdagelser, som kan komme i spil i samfundet og skabe værdi.

Derfor er der allerede i dag enorm fokus på at sikre gode erhvervssamarbejder med universiteterne. Store samarbejdsprojekter kan dog synes tunge at løbe i gang med de mange forskellige interesser på tværs af industri og universitet. Disse interesser tilgodeses traditionelt gennem kontrakter og aftaler om IP-retteligheder, hvor grænser og mål for samarbejdet gøres helt klare.

Ofte kræver de helt store udfordringer dog en fælles løsning, uden man nødvendigvis kender opskriften fra start. Hvis man derfor vil arbejde med projekter af mere grundlæggende karakter, hvad gør man så? Man finder det traditionelle erhvervssamarbejdes livlige og hurtige lillebror frem: Open Science.

Open Science nedbryder barrierer

Open Science platformen tilbyder en ny form for samarbejde. Gennem grundforskningsprojekter forsøger Open Science at tage fat på fremtidens udfordringer med stor relevans for mange virksomheder og på tværs af industrier. Der er altså ikke tale om produktudvikling eller bestilt forskning, men nærmere en fokusering af grundforskningsspørgsmål for at rette dem mod fremtidens udfordringer. Og det sker med fuldstændig åbenhed omkring alle resultaterne i projekterne. Grundforskningsprojekter, som ikke ville have set dagens lys uden den åbne model.

Det første Open Science samarbejde på Aarhus Universitet fokuserer på *Smarte POLymer MAterialer og Nanokompositter (SPOMAN)*. SPOMAN-samarbejdet rummer en lang række virksomheder og forskere fra danske



Foto: Lars Kruse

Kim Daasbjerg, professor, iNANO og Institut for Kemi, Aarhus Universitet
kdaa@chem.au.dk

universiteter. Alle grundforskningsprojekter inden for dette område er mere end velkomne på SPOMAN-platformen, hvorved de kan accelereres gennem det store netværk og samarbejdet omkring Open Science. Åbenheden på platformen har til formål at nedbryde barrieren mellem industri og universitet. Det kan nemlig for mange virksomheder synes uoverskueligt at indgå i nye vidensamarbejder med de danske universiteter. Der er mange forestillinger om kringlede kontrakter og tunge systemer, og lige netop denne forestilling vil Open Science gøre op med.

Open Science som erhvervssamarbejde favner bredt og rummer en stor gruppe virksomheder. Der er plads til alle i Open Science, og mangfoldigheden er en af de store kvaliteter i samarbejdet. Mangfoldigheden og åbenheden giver den agilitet i projekterne, som så ofte efterspørges. Når man er åben omkring processerne i projekterne og ikke bundet af kontrakter, kan man netop skifte spor med kort varsel, og man kan rumme mange typer samarbejder og kompetencer. Derfor er det også en stor kvalitet, at samarbejdet på en gang har plads til de helt store danske virksomheder som LEGO, VESTAS, ECCO, VELUX Group, Grundfos og SP Group, og de små og mellemstore virksomheder som Unisense, CemeCon, RadiSurf og NEWTEC.

De små virksomheder kan ellers generelt se det som en stor udfordring at få adgang til universitetsverdenen. Den helt åbne adgang til samarbejdsprojekterne giver nye muligheder for samarbejde. Både de store og de små virksomheder har stor glæde af at kunne deltage aktivt i udvalgte projekter og følge andre projekter mere perifært. Det giver alle mulighed for at deltage i lige præcis de projekter og samarbejder, som har den største relevans.

Studererprojekter bygger bro

Open Science samarbejdet startede med de første studenterprojekter i januar 2017, hvor 9 kemi- og iNANO studerende fra Aarhus Universitet var involverede. I forårssemesteret 2018 var 14 studerende fra 5 institutter på 3 danske universiteter aktive i SPOMAN-projekterne. De studerende, der vælger at deltage i open science, får en noget anderledes opgave end deres medstuderende på almindelige bachelor- og specialeprojekter. I Open Science samarbejdet går en stor del af kommunikationen med virksomhederne nemlig gennem de studerende. De studerende får dermed mulighed for at få input til deres projekter fra både andre studerende, forskere og virksomheder, som deler deres interesse for arbejdet. Opbygning af netværk og sparring mellem studerende og virksomheder finder i stor grad sted ved åbne månedlige faglige Open Science møder. For de studerende er møderne en helt unik mulighed for at skabe et relevant fagligt og industrielt netværk, allerede inden studierne er forbi, mens de for virksomhederne er et oplagt sted at holde et vågent øje med de nye kandidater og måske kommende medarbejdere.

For både universitet og industri er gode samarbejdsprojekter vigtige for at generere viden og sikre Danmarks konkurrenceevne i fremtiden. For at opretholde en stærk position i verden skal der tænkes nyt og stort – og dette kan kun lade sig gøre, hvis en gennemgribende kulturændring finder sted. Open Science giver et seriøst bud på en platform, hvorpå dette kan foregå. ■

indhold



Blæksprutter som mad har et dårligt rygte i Danmark. Hvis de er tilberedt forkert, kan de være seje som gummi. Ved at forstå lidt af videnskaben bag deres muskelopbygning kan man imidlertid gøre dem til velsmagende og spændende mad.

8



Hvordan vekselvirker vandløpper og giftige kiselalger i det sårbare arktiske miljø? Det har danske forskere undersøgt, da denne vekselvirkning er baggrunden for, at gift kan akkumulere gennem fødekæden og gøre dyr og mennesker syge.

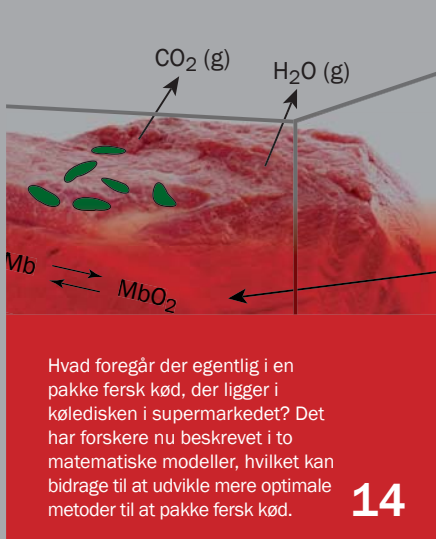
22

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Spise blæksprutter – er du mør?
- 14 Naturvidenskab i kødpakken
- 18 Hvorfor er edderfugle blevet større?
- 22 Når vandløppen gør algen giftig
- 28 Klimaet på dagsordenen
- 30 Hvordan har din havvindmølle det?

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 SYNSPUNKT: Open Science baner vejen for ny type samarbejde
- 35 Big datas Titanic?
- 40 Bøger og service
- 44 BAGSIDEN: VR til kamp mod druk



Hvad foregår der egentlig i en pakke fersk kød, der ligger i køledisken i supermarkedet? Det har forskere nu beskrevet i to matematiske modeller, hvilket kan bidrage til at udvikle mere optimale metoder til at pakke fersk kød.

14



I Influenza-trackingtjenesten Google Flu Trends startede som en succes, men endte som en fiasko. Flu Trends viser de muligheder, der ligger i brugen af big data, men illustrerer samtidig de erkendelsesteoretiske faldgruber og etiske dilemmaer, som brug af store datasæt rummer.

35

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, 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

Søren Rud Keiding, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

Redaktører Jørgen Dahlgaard og Carsten Rabæk Kjaer
Tlf.: 87 15 20 94

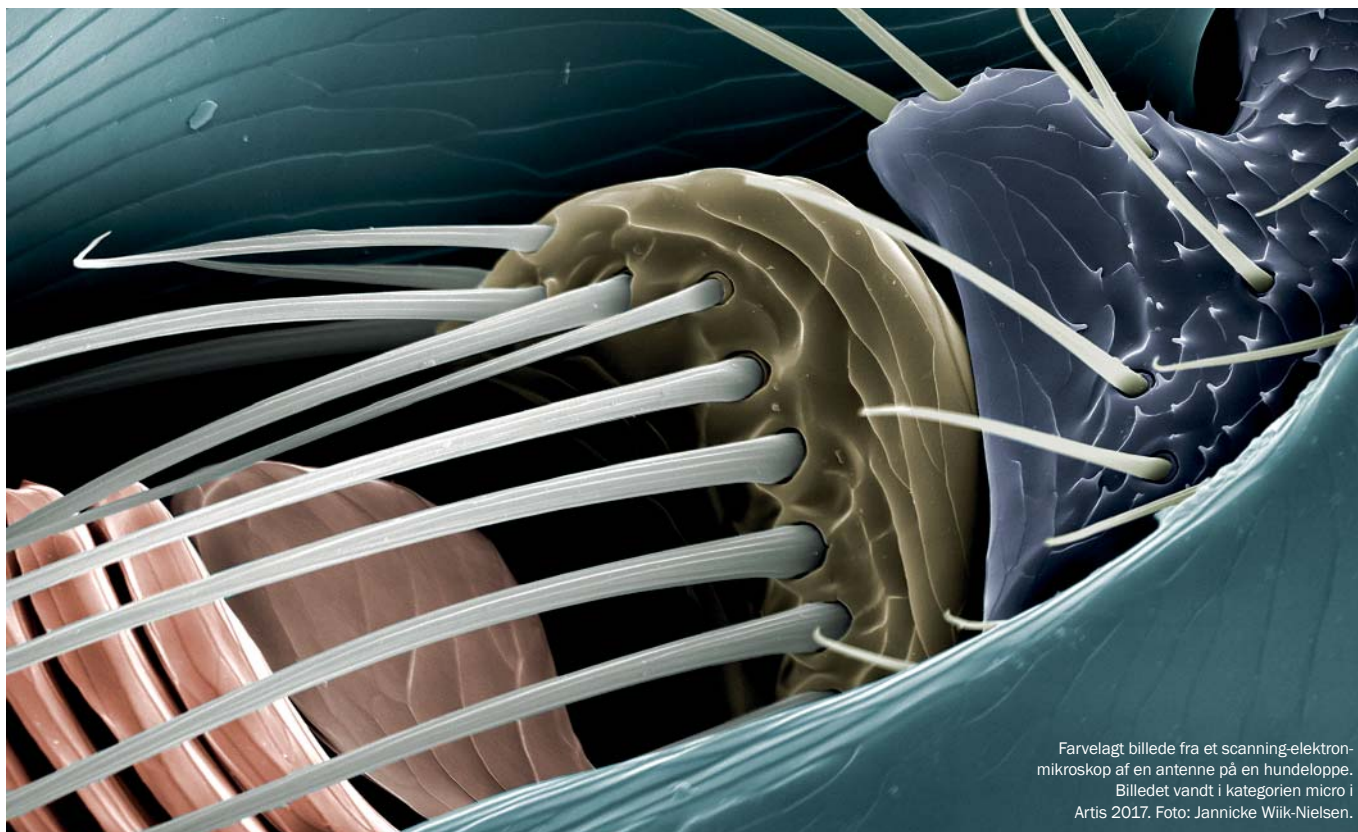
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



SPONSOR-
ABONNENTER





Farvelagt billede fra et scanning-elektronmikroskop af en antenne på en hundeloppe. Billedet vandt i kategorien micro i Artis 2017. Foto: Jannicke Wiik-Nielsen.

Skønheden i videnskaben

Videnskaben har mange smukke ansigter, det har de seneste års fotokonkurrence ARTiS bevist. Konkurrencen, der afholdes af Københavns Universitet, inviterer forskere fra hele verden til at indsende billeder, der viser objekter og data i deres forskningsprojekter. Det kan være et mikroskopbillede en hundeloppe, en scanning af organismen hydroid eller et billede af havbunden, der til forveksling ligner månen.

Der uddeles priser i fem billedkategorier: nano, micro, mini, macro og mega – foruden en række andre kategorier. En af disse er Young ART-Scientists, der er specielt dedikeret til deltagere fra gymnasier, som vil kunne bidrage

som enkeltpersoner, grupper eller klasser. Billederne bliver som udgangspunkt vurderet af et panel af forskere, videnskabelige tidsskrifter og kunstnere, og en række af priserne vil også blive uddelt af offentligheden via ARTiS' facebookside og til ARTiS-udstillingen under Kulturnatten 2018. Her vil de bedste billeder blive udstillet i Festsalen på Københavns Universitet – en udstilling, der sidste år trak 4000 besøgende.

Karen Martinez, lektor ved nano-science center på kemisk institut, har startet ARTiS og sidder også i dommerpanelet. Hun mener, at initiativet er en god måde at kommunikere med omgivelserne på.

»Det er mere og mere vigtigt at kommunikere til offentligheden, både i forhold til opdagelser og innovation. Med billederne fra ARTiS kan vi vække folks nysgerrighed – først lægger de mærke til skønheden, og så begynder de at forstå, hvad der ligger bag skønheden,« siger hun.

Hun understreger, at alle videnskabelige retninger er velkomne til at indsende deres bud på fascinerende og smuk data, og at motiverne kan være alt lige fra biologisk materiale, arkæologiske fund og landskaber.

Læs om reglerne for konkurrencen og se billeder fra tidligere ARTiS på <http://artis.ku.dk>

Fra æg til vandtæt materiale

Kinesiske forskere har ud udviklet et nyt, vandafvisende materiale ud fra et noget uventet og meget miljøvenligt grundmateriale, nemlig æggeskaller. Forskerne købte æg i det lokale supermarked, knuste skallerne og blandede dem med stearinsyre. Ved at kombinere blandingen med partikler af zinkoxid

frembragte forskerne et fast materiale, som er vandskyende selv efter hård behandling som bestråling med ultraviolet lys og slibning med sandpapir.

Forskergruppens opfindelse vil kunne bruges som overfladebehandling, som kan forhindre korrosion og tilslusning. Vand

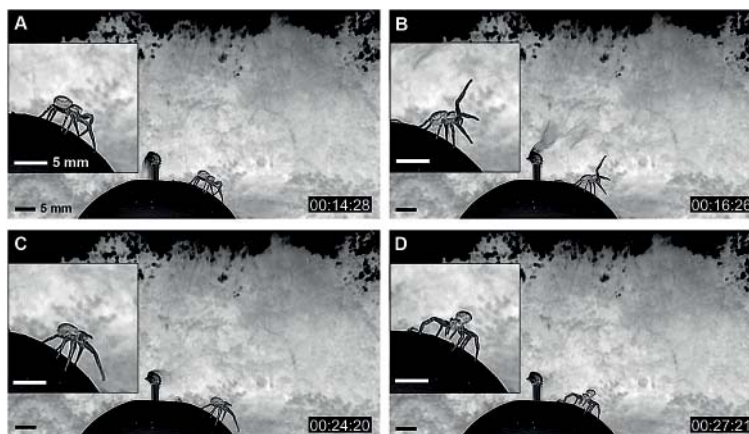
gennemtrænger som nævnt ikke materialet, men det gør olie til gengæld. Derved vil materialet i princippet også kunne bruges i filtre til behandling af olieholdigt spildevand.

CRK, Kilde: Adv. Eng. Mater., doi.org/10.1002/adem.20170118

Når edderkopper går i luften

At stikke en finger op i luften kan give en ide om vindretningen. Det lader til, at edderkopper også har luret dette princip af også – de stikker blot et ben op i luften for at mærke på vindforholdene.

Moonsung Cho ved det Tekniske universitet i Berlin og kolleger har observeret såkaldte krabbeedderkopper (*Xysticus*) for at blive klogere på den adfærd, der sætter relativt store edderkopper (op til 25 milligram) i stand til at flyve ved hjælp af særligt tynde tråde af spind, som fanger vinden. Forskerne fandt, at edderkopperne løftede et forben op i luften, før de begyndte at producere de tynde silketråde. Denne positur mener forskerne hjælper dem med at vurdere vindhastighed og temperatur. Billederne viser rækkefølgen



i edderkoppernes adfærd. Først fornemmer de vindforholdene udelukkende ved hjælp af sensoriske hår (A). Hvis forholdene lader til at være gunstige, stikker de et ben i vejret og holder denne positur i 8 sekunder (B).

den producerer de tynde silketråde, som skal fange vinden.

Beslutter edderkopperen sig for at det er tid at flyve, ændrer den positur (C). Til sidst orienterer den kroppen i vindretningen og stiller sig på "tæer", hvorefter

Fotos: Cho et al.

CRK, Kilde: *Plos one*, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2004405>

Robot skal lære som en hund

Typiske robotter går eller bevæger sig i forudbestemte rytmer eller ruter. Hvis de står over for ukendte situationer eller bliver bedt om selv at finde vej, er de fortabte. Men nu har robotforskere fra Syddansk Universitet ambitioner om at udstyre bio-inspirerede, gående robotter med en overordnet hjerne, så robotterne kan finde vej, klatre, planlægge og tage egne beslutninger.

»På baggrund af biologiske undersøgelser udvikler vi en kunstig hjerne til robotter. Hjernen virker som en generel og fleksibel controller eller smart motorstyringssoftware, som udstyrer robotten med evnen til at mestre flere færdigheder på samme tid. For eksempel kan robotten gå, finde vej samtidig med, at den skubber eller transporterer et objekt med benene,« siger lektor Poramate Manoonpong fra SDU Embodied Systems for Robotics and Learning og fortsætter:

»Hvert af robotbens ben styres af hjernen med force feedback. Et system som konstant rapporterer tilbage, hvis der er problemer i terrænet, eller hvis robotbens ben brækker. Så sendes et signal, og den overordnede hjerne foretager justeringer efter betingelserne, så robotten kan fortsætte.«



Seksbenet robot udviklet i Neurorobotics Lab på SDU. Foto: SDU.

Poramate Manoonpong har tidligere udviklet en robot inspireret af insekter. Med sine seks ben kan den klatre op ad stejle stigninger, men nu vil robotforskeren udstyre robotten med en kunstig hjerne, så den også vil kunne udføre mere komplekse handlinger.

»Vi har for nylig opnået første skridt. En lille hjerne, der kan tilpasse sig forskellige systemer for robotben, som størrelser, vægt og motorer. Hjernen kan styre bevægelserne i benene og hurtigt tilpasse bevægelserne efter forskellige pludseligt opståede situationer.

Det kan være at fuldføre en mission på lav energi,« forklarer Poramate Manoonpong.

Det intelligente motorstyringssoftware kan bruges til andre robotplatforme, for eksempel en gekko-robot, som er udviklet af Institute of Bio-inspired Structure and Surface Engineering i Kina. Ved at bruge smart motorsoftwaren vil robotten ligesom en gekko kunne klatre på vægge og lofter. Det vil gøre robotten ideel til at arbejde i rumfartøjer, hvor der er vægtløshed.

Forskerne har konstrueret den kunstige hjerne, så den også har et modul eller center, hvor den kan lære nye færdigheder, uden at forskerne har forprogrammeret robotten. Robotten lærer simpelthen på samme måde som en hund. Gennem belønning.

»Vi er inspireret af den måde, dyrene lærer på. For eksempel kan vi programmere robotten til at kunne lide lys. Ligesom en hund bliver belønnet med godbidder, kan vi belønne robotten med lys. Hvis robotten går den rigtige vej, bliver den belønnet ved, at det bliver lysere. Hvis den går forkert eller falder, vil lyset tages fra den,« siger Poramate Manoonpong.

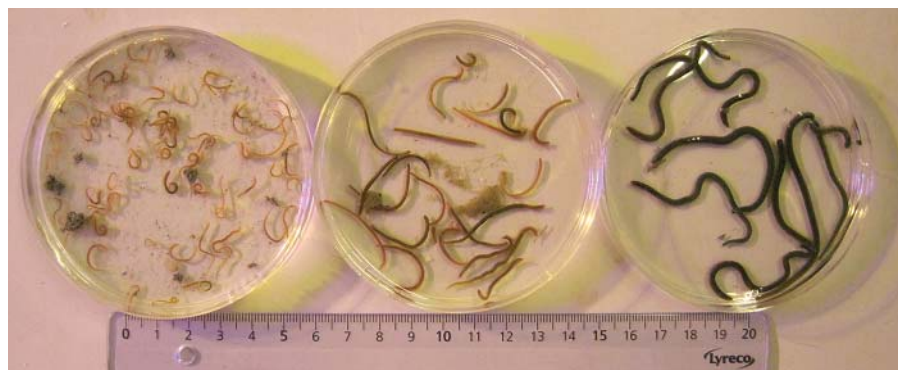
Af Birgitte Dalgaard, Det tekniske Fakultet, SDU

Invasive arter kan også være gavnlige

I 1990 dukkede de første invasive børsteorm op i Danmark, og lige siden er deres udbredelse til resten af landet blevet fulgt med bekymring. De er meget dygtige til at udkonkurrere den hjemmehørende frynseorm, og det kan have fatal betydning for vandkvaliteten langs kysterne. Begge arter er bundlevende og graver i havbunden, men mens frynseormen ilter havbunden, stimulerer børsteormene dannelsen af svovl. Eller det er i hvert fald, hvad man har ment hidtil. For nu viser det sig, at de invasive børsteorme ikke kun er skadelige. Der findes i Østersøen tre arter invasive børsteorm, og som unge ligner de hinanden så meget, at man ikke kan se forskel på dem med det blotte øje. Der skal DNA-analyser til.

»Hidtil har man tænkt på alle tre arter som skadelige, fordi de er så nært beslægtede. Men det er altså kun en af dem, der er skadelig. Der er også en, der er decideret gavnlig,« fortæller Cintia Quintana, som er biolog ved Syddansk Universitet.

Sammen med kolleger har hun dokumenteret forskellene mellem de tre invasive børsteormes effekt på vandmiljøet. Den skadelige børsteorm er *Marenzelleria viridis*, og den



De tre invasive børsteorm: Til venstre ses den gavnlige *M. arctia*, i midten *M. neglecta* og til højre *M. viridis*. Foto: Cintia Quintana.

kan med rette kaldes svovlorm, for det er den, der står for den skadelige svovlproducerende aktivitet. Denne orm findes i den sydlige del af Østersøen, hvilket i store træk involverer alle danske farvande.

Dens fætter, *M. arctia*, derimod, lever i den nordlige og midterste del af Østersøen, og ifølge Cintia bør den ikke vække bekymring: »*M. arctia* er med til at ilte havbunden og er dermed snarere gavnlig end skadelig.« Desværre er det ikke sandsynligt, at den gavnlige børsteorm vil søge sydpå og fortrænge den skadelige.

»Vandets saltindhold afgør, hvor de kan leve. Og i sydlige del af Østersøen er det for salt for den gavnlige *M. arctia*,« siger Cintia Quintana.

Man kender endnu ikke effekten af den tredje invasive børsteorm, *M. neglecta*, men undersøgelser tyder på, at den opfører sig ligesom *M. viridis* og derved er skadelig for vandkvaliteten.

Birgitte Svennevig, SDU. Kilde: *Estuaries and Coasts*. 10.1007/s12237-018-0376-9.

Følsom Indlandsis

For at forstå fremtiden må man se tilbage i tiden. Sådan kan man måske sætte perspektivet op i et studie, der for nylig er publiceret i *Nature Communications*. Her har en international forskergruppe, under ledelse af lektor Nicolaj Krog Larsen fra Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, undersøgt den såkaldte Nordøstgrønlandske Isstrøm. Det er Grønlands største isstrøm, og den dræner cirka 12% af hele Indlandsisen.

Arbejdet har påvist, at afsmeltningen af Indlandsisen ikke begrænser sig til den varme holocæne periode i de seneste 11.600 år. Faktisk lader det til at have været foregået også under sidste istid i perioder med meget lave temperaturer. Det indikerer, at Indlandsisen er særdeles sensitiv over for klimaforandringer, hvilket kan forværre konsekvenserne af den såkaldt antropocæne, eller menneskeskabte, klimaforandring.

»Vores fund viser, at der er områder af Indlandsisen som er forholdsvis stabil, mens der andre steder er områder, som er præget af særdeles stor afsmeltning. Det mønster kan vi se i dag såvel som i observationer, der går mange tusind år tilbage i tiden,« forklarer Nicolaj Krog Larsen; »En del af afsmeltningen relaterer sig til topografien under isen – der hvor isen har fodfæste på bunden af fjorden er den forholdsvis stabil, mens den er meget ustabil, hvor vanddybden er større.«

Der er flere faktorer, der kan forklare afsmeltningen – herunder Jordens kredsløb om Solen, der har ændret sig og givet varmere sommerperioder. Det var tilfældet for 9.000 år siden, hvor kredsløbet sendte kloden tættere på Solen og vendte isens udvikling. Den forandring er observeret i Den Nordøstgrønlandske Isstrøm i form af kraftig afsmeltning. Men der er også påvist faldende ismængde i perioden for mellem 41.000 og 26.000 år siden under sidste

istid, hvor man havde meget lave årstemperaturer på Jorden. Her viser temperaturanalyser baseret på data fra iskerner, at den mindre udbredelse af Den Nordøstgrønlandske Isstrøm formentlig skyldes lavere nedbørsmængder samt relativt høje sommertemperaturer.

»Den antropocæne periode har efterladt et stort aftryk allerede i Grønland. Temperaturstigningen har allerede afstedkommet en signifikant reduktion af Indlandsisen, som vi ikke havde regnet med at se før sidst i dette århundrede. Observationerne viser os, at Den Nordøstgrønlandske Isstrøm er særdeles følsom over for ændringer i både hav- og lufttemperatur, og isstrømmen er i øjeblikket inde i en fase med stor og hurtig afsmeltning,« forklarer Nicolaj Krog Larsen.

Rasmus Rørbæk, ST-Kommunikation, Aarhus Universitet. *Nature Communications* vol. 9, Article number: 1872 (2018)

Vigtigt skridt mod brændstof af træaffald

Forskere fra Aalborg Universitet (AAU) har sammen med virksomheden Steeper Energy knækket koden til at lave træaffald om til biobrændstof til fly, skibe og lastbiler.

Ifølge professor Lasse Rosendahl fra AAU og Claus Uhrenholt Jensen fra Steeper Energy er potentialet i den nye teknologi enormt. Teknologien er nemlig både effektiv, bæredygtig og kan benyttes til at producere brændstoffer ud fra så forskellige ting som spildevandsslam, husholdningsaffald, træ, gylle og halm.

»Det, som vi har gjort, har ikke været gjort før, og det kan få en meget stor impact på transportsektoren. Vi taler ikke om at dække et par promiller af transportsektorens behov for brændstof – vi taler om titalsprocenter.

Det kan virkelig blive stort,« forklarer Lasse Rosendahl.

Claus Uhrenholdt Jensen har gennemført et erhvervsforskerprojekt, der udgør en del af et større samarbejde mellem Aalborg Universitet og Steeper Energy. I sit forskningsarbejde har han bidraget til at udvikle en teknologi, som gør det muligt at omdanne organiske materialer til anvendeligt brændstof, som er fuldt kompatibelt med eksisterende motorer



Claus Uhrenholt Jensen med bioolien, der er klar som brændstof til lastbiler, skibe og fly. Foto: Henrik Egholm, Steeper Energy

og infrastruktur til tung transport.

Første skridt i den proces er at lave en bio-råolie ved hjælp af den kendte Hydrothermal Liquefaction (HTL)-proces, der efterligner naturens egen måde at lave olie på. Med en temperatur på ca. 400 grader celsius og et tryk på 350 bar kan HTL-metoden producere olie på bare 15 minutter i modsætning til naturens flere hundrede millioner år.

Efter HTL-processen skal olien raffineres til et færdigt brændstof. Selve processen modsvarer den, som olieselskaber bruger til at raffinere og destillere råolie fra eksempelvis Nordsøen til henholdsvis benzin, flybrændstof, diesel og skibsbrændstof. Men da råolien, som forskerne laver af blandt andet trætoppe, har et højt indhold af salte og ilt, kan man dog ikke umiddelbart benytte sig af konventionelle raffineringsprocesser til at få brændstoffer ud af den. Her har Claus Uhrenholt Jensen derfor udviklet nogle nye metoder, som adskiller saltene fra olien ved at forsure vandfasen med CO_2 – lidt ligesom brus sænker pH i en cola. Forsuringen fjerner saltene og gør olien raffinérbar.

»Udbyttmæssigt kan vi omdanne et ton tørt træ til 400 liter brændstof.

Det er en energieffektivitet på over 70 procent. Desuden er vores brændstof mere eller mindre CO_2 -neutralt, da CO_2 -udledningen svarer til den, som træet optager gennem sin levetid. Estimater viser endog, at vi potentielt kan lave brændstof med en negativ CO_2 -påvirkning, så man ligefrem fjerner CO_2 fra atmosfæren ved at udnytte vores brændstof. Det vil være banebrydende,« fortæller Claus Uhrenholdt Jensen.

Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet

Livgivende celle

Hvis man skærer et individ af fladorme af den type, der kaldes planaria, i små stykker, er småstykkerne ofte i stand til at vokse ud igen til et helt individ. Men præcis hvilke stamceller, der står bag denne forunderlige egenskab, har længe været et mysterium. Nu har Alejandro Sánchez Alvarado ved the Stowers Institute for Medical Research i Kansas City, Missouri og hans kolleger løst mysteriet. Forskerne studerede fladormen *Schmidtea mediterranea* og fandt, at de celler, der er i stand til at re-



Fladormen *Schmidtea mediterranea* kan overleve blot en enkelt celle af den rette type er i live. Foto: Alejandro Sánchez Alvarado, CC by-SA 2,5.

generere er kendetegnet ved et højt udtryk af et gen kaldet *tspan-1*, og disse celler findes vidt udbredt i ormenes kroppe.

Da forskerne udsatte ormene for store – men ikke-dødelige – doser stråling, overlevede celler, der udtrykte *tspan-1*, og disse erstattede efterhånden celler, der var blevet dræbt af strålingen. At transplantere blot en enkelt *tspan-1*-udtrykkende celle over i en fladorm, der havde modtaget en dødelig dosis stråling, var nok til at redde ormen fra at dø.

CRK, Kilde: *Cell*, vol. 173, Is. 7, pp 1593–1608.



SPISE BLÆKSPRUTTER

– er du mør?

Blæksprutter som mad har et dårligt rygte i Danmark. Hvis de er tilberedt forkert, kan de være seje som gummi. Ved at forstå lidt af videnskaben bag deres muskelopbygning kan man imidlertid gøre dem til velsmagende og spændende mad.

Af Blækspruttebanden

Forfatterkontakt:
ole.mouritsen
@food.ku.dk

Blækspruttebanden består af en gruppe af forskere, studerende, formidlere og kokke, der er tilknyttet Smag for Livet og Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet.

Blækspruttebanden udgøres af Charlotte Vinther Schmidt, Louise Beck Brønnum, Yi-Ting Sun, Peter Lionet Faxholm, Roberto Flore, Mathias Porsmose Clausen, Karsten Olsen & Ole G. Mouritsen.

I efteråret 2017 samlede vi en gruppe af forskere, studerende, formidlere og kokke til at arbejde med danske, tiarmede blæksprutter af torpedotypen, og vi fik hurtigt navnet *Blækspruttebanden*.

Vi har sat os for at studere, både i laboratoriet og i køkkenet, blæksprutters gastronomiske potentiale på et videnskabeligt, gastrofysisk grundlag, hvor naturvidenskaben er tæt koblet til gastronomi og kogekunst. Målet for studierne er ikke alene at udforske forskellige tilberedningsmetoder for at opnå interessant smag og tekstur, der passer til danske ganer, men også at sætte fokus på, at der i danske farvande i form af blæksprutter er et uudnyttet

potentiale for fødevareinnovation og produktudvikling.

Verdens mærkeligste dyr

Blæksprutter er nogle af jordens mærkeligste skabninger, som lever overalt i verdens salte have, fra overfladen og ned til kilometers dybde. De er meget anderledes end os, men alligevel lige så intelligente som hunde eller katte. Hvis vi søger efter at kommunikere med intelligent liv andre steder i universet, skulle vi måske starte med blæksprutterne.

Det meget fremmedartede udseende af blæksprutter, deres mange arme og akrobatiske måde at bevæge sig på, deres frygtindgydende sugekopper og deres mystiske

tilstedeværelse i de dybe og mørke have har gennem tiderne både fascineret og skræmt mennesker, ligesom det har skabt legender, myter, fantasier og historier, som er beskrevet i kunst, litteratur og film.

Blæksprutter har en ældgammel oprindelse, og de er beslægtede med bløddyr som muslinger og snegle. De kan blive kæmpestore, op til 18 meter lange, og have øjne så store som fodbolde, men alligevel lever de kun et par år. De parrer sig kun en enkelt gang i løbet af deres liv og dør kort tid efter elskovsakten. De har blåt blod og tre hjerter, og de kan udspy kulsort blæk. Deres hud kan med lynets hast skifte farve og mønstre, men alligevel er de selv farveblinde. De kan endda ændre

Blæksprutternes historie

Det danske ord *blæksprutter* er navnet for en gruppe af havdyr, som videnskabeligt kaldes Cephalopoda og som tilhører rækken af bløddyr (Mollusca). Cephalopod betyder "hovedfod", men navnet er noget misvisende, for cephalopoder har ikke fødder, men arme, der er tæt knyttet til deres hoved. Navnet blæksprutte hentyder til det forhold, at mange slags cephalopoder kan udspy en sort væske. Men det er ikke nogen god biologisk klassifikation, fordi ikke alle cephalopoder har blæk.

Bløddyrene (Mollusca) opstod under den såkaldte Kambriske Eksplosion for omkring 542 millioner år siden, hvor det gennem en periode på cirka 50 millioner år myldrede frem med nye livsformer, heriblandt alle de større dyrerækker, som stadig findes i dag. Mod slutningen af denne periode opstod cephalopoderne, formodentlig med ydre skaller, og de skulle senere udvikle sig til at blive nogle af havets mest succesfulde og dominerende dyr allerøverst i fødenetværket og i stærk konkurrence med benfiskene. For lidt mere end 270 millioner år siden opstod den gruppe af blæksprutter, som vi kalder ægte blæksprutter (Coleoidea). Disse blæksprutter har ingen ydre skaller. Alle ægte blæksprutter har arme, og en simpel hovedinddeling er i ottearmede (octopoder) og tiarmede (decapoder) blæksprutter. Ved at kaste skallerne fra sig har blæksprutterne fået stor mobilitet, men er til gengæld blevet mere sårbare. Samtidig har de som den eneste gruppe af bløddyrene udviklet en hjerne.

Man regner med, at der i dag er op mod 800 forskellige nulevende, kendte arter af blæksprutter. Formodentlig er der et lige så stort antal, som endnu ikke er identificeret, især på store havdybder.



Illustration af hovedtyperne af nulevende blæksprutter. Øverst ottearmet blæksprutte (octopus) og nedenunder to typer af tiarmede blæksprutter, *sepia* (midten) og *loliigo* nederst. Illustrationer: Ene Es.

overfladestrukturen i huden og blive knudret som et gammelt træ, og de kan smage med armene. De kan svømme lynhurtigt med en jetmotor, og de tiarmede blæksprutter kan skyde deres fangarme ud med op til 900 km/t.

Er det da så underligt, at blæksprutter altid har fascineret mennesker overalt på jorden?

Samtidig har blæksprutter verden over og gennem årtusinder og i mange kulturer fundet vej ind i køkkenet og gastronomien. Men ikke i Norden. De er næringsrige og er velsmagende. De kan blive en vigtig proteinkilde for os til at supplere kød fra landdyr. Ved at anvende blæksprutter i køkkenet kan vi også

finde veje til at udnytte havets ressourcer på en mere indsigtfuld og bæredygtig måde.

Spiselige, sunde og velsmagende blæksprutter

Der er tre typer af blæksprutter, som er let tilgængelige og alle har gastronomisk potentiale. Efter deres udseende kalder man dem ottearmede (Octopoda) fx octopus, sepialignende (Sepioidea) og torpedoformede (Oegopsida og Myopsida). De to sidste typer er tiarmede.

Blæksprutter er sund mad. De har et højt proteinindhold, omkring 16 %, og et lavt fedtstofindhold, cirka 1 %, hvoraf en stor del er flerumættede fedtsyrer. Energiindholdet (kalorier) er betydelig mindre i bløddyr end

fisk og kylling. Alle blæksprutter er gode kilder til især calcium, og jern og natrium har høje værdier i octopus og sepiablæksprutter. Desuden indeholder de mange mikronæringsstoffer, specielt kobber, zink, selen og krom. Blæksprutter er velsmagende, fordi de indeholder store mængder af frie aminosyrer og nukleotider, som giver umami-smag. Endelig er det værd at nævne, at blæksprutter er mindre belastet af miljøgifte end mange andre havdyr, fordi de kun lever ganske få år.

Der er 45 kendte arter af blæksprutter i vandene omkring Danmark, men nogle af dem er sjældne og kommer kun forbi af og til, og normalt kan man kun finde ganske få forskellige arter på markedet.



En af de første observationer af et levende eksemplar af den tiarmede kæmpeblæksprutte *Architeuthis dux*. (Gengivet med tilladelse fra Tsunemi Kubedera).

Der er ingen stor tradition for at fange blæksprutter i Danmark, selv om der er masser af dem i for eksempel Nordsøen. Da de ikke har en svømmeblære, kan de ikke ses på fiskernes ekkolod. De fanges som bifangst, og det meste eksporteres sydpå. I vintermånederne november-januar fanges der rigtig mange torpedoformede tiarmede blæksprutter i Nordsøen, specielt *Loligo forbesii*, som er den art, *Blækspruttebanden* har kastet sig over.

Hvorfor bliver blæksprutter tit seje?

For at kunne forstå, hvorfor blæksprutter kan være seje, kan det være nyttigt at se på, hvad der skal til for at give et dyr mulighed for at bevæge sig. Ethvert bevægelsesapparat har brug for en eller anden slags understøttende struktur til at bevæge sig i forhold til. Forskellige dyregrupper har løst dette problem med understøttelse på vidt forskellige måder.

Hvirveldyr som fisk, fugle og pattedyr og leddyr som krebsdyr og myrer har etableret en sådan understøttelse ved hjælp af henholdsvis et indre og et ydre skelet. Lemmerne er så konstrue-

ret som et sæt sammenhængende løftestænger, der kan bevæges i forhold til hinanden omkring nogle aksler (led). Kraften til bevægelsen leveres af muskler, der er bundet til stængerne. Ulempen ved et sådant system er, at bevægelsen kun kan udføres i de retninger, som tillades af leddene, og i afstande, som er bestemt af stængernes længde.

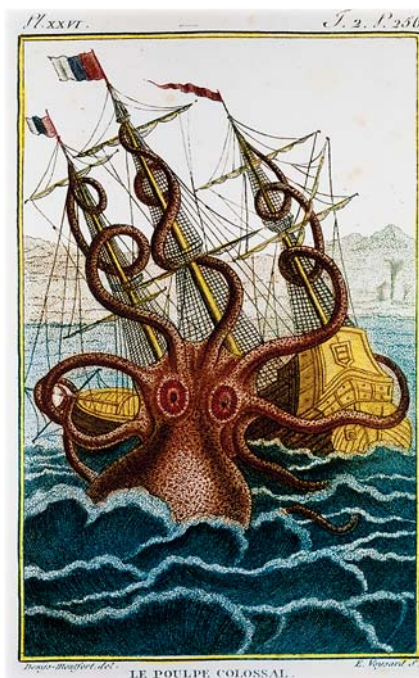
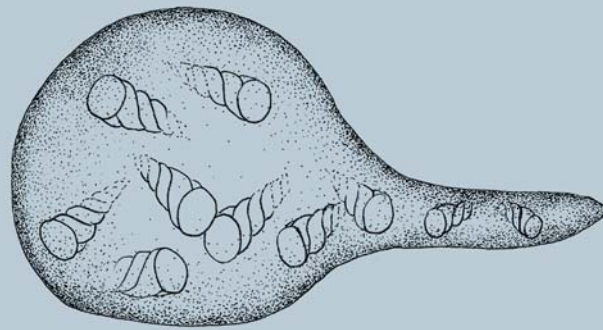
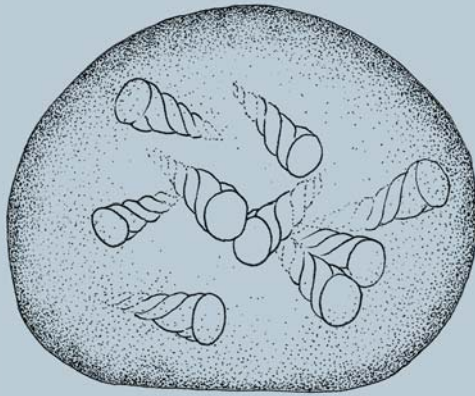


Illustration af kæmpeblæksprutte, som angriber et sejskib (Pierre Denys de Montfort, 1766–1820). Natural History Mus., London.

Hvirvelløse bløddyr som ægte blæksprutter har fundet deres helt egen måde at løse problemet med manglende understøttelse, oven i købet på en måde, som giver dem en enorm frihed med hensyn til bevægelsesmønstre, bevægelsesretninger og bevægelsesafstande. Løsningen er at opbygge musklerne som en såkaldt muskulær hydrostat. Man kan tænke på en muskulær hydrostat som en slags vandfyldt ballon, der ikke er helt spilet ud. Hvis man trykker på ballonen et sted, er den nødt til at bule ud et andet sted for at holde tryk og rumfang konstant. Det er denne simple betingelse af konstant volumen, men med mulighed for formændringer, som giver blæksprutternes særlige bevægelsesmønstre. På den måde kan blæksprutter udføre mange typer af forskellige bevægelser: svømning, "flyvning" (glideflugt over vandet), jetbevægelse og "gang" på bunden.

Bindevæv bestemmer mørheden

Muskler er opbygget hierarkisk af bundter af muskelfibre. Bundterne er pakket ind i bindevæv. Det er styrken af bindevævet, som afgør, hvor mørkt muskelkødet kan



Muskulær hydrostat

En hydrostat er et deformerbart system, som er underkastet et konstant tryk. Hvis systemet samtidig består af et materiale, der er usammentrykkeligt, følger det, at systemet også har konstant rumfang, men eventuelt kan ændre form under kraftpåvirkninger. Et materiale som en muskel består overvejende af vand. Da vand under normale trykbetingelser stort set er usammen-

trykkeligt, betyder det, at muskler er hydrostater, såkaldt muskulære hydrostater. Vores tunge og elefantens snabel er eksempler på muskulære hydrostater.

Tegningen viser en skematisk illustration af, hvordan en muskel på en blæksprutte kan skyde en arm ud, når den fungerer som en muskulær hydrostat.

blive, når det tilberedes som mad. Jo stærkere bindevæv, jo sejere er kødet. Bindevævet er et netværk af kollagenfibre, som består af lange proteinmolekyler, der er snoet omkring hinanden tre og tre som i et tov. De enkelte proteinmolekyler kan være bundet mere eller mindre stærkt til hinanden med kemiske bindinger (krydsbinding). Jo flere af disse krydsbindinger, jo stærkere, sejere og mere elastisk er bindevævet. Det er først og fremmest disse bindinger, som bestemmer, hvor mørt kødet er.

Kollagenet er meget svagere i benfisk end i blæksprutter, som typisk har fire gange mere bindevæv end fisk og tre gange mere end for eksempel oksekød og desuden væsentligt mindre fedtstof. Det er især den meget stærke bindevævsstruktur i blæksprutter, som gør det muligt for dem at bevæge sig ved hjælp af princippet bag en muskulær hydrostat. Hvis muskelmassen blot var som en strukturløs væske uden bindevæv, ville det ikke virke.

Det er musklernes bevægelse, der kan få en muskulær hydrostat til at ændre facon. Det eneste, en muskel imidlertid kan gøre, er at trække sig sammen. Andre muskler kan

så ved deres sammentrækning få den første muskel til at strække sig ud igen. Muskler hos for eksempel pattedyr, hvor bevægeapparatets muskler er tværstribede, kan kun trække sig sammen og strække sig ud igen i én retning, og de er på den måde organiseret endimensionalt. I modsætning hertil er musklerne hos blæksprutter organiseret tredimensionalt og kan derfor understøtte bevægelse i vilkårlige retninger.

Mørning af blæksprutter

For at mørne musklerne på en blæksprutte må man svække kollagen-netværket. Traditionelt mørner man kødet på ottearmede blæksprutter enten ved varmetilberedning eller mekanisk behandling, for eksempel i Grækenland ved at banke dem mod klipper, i Japan ved at massere dem og i New York ved at køre dem gennem en tumbler. Men der er andre måder at løsne kollagen-netværket på, for eksempel ved brug af enzymer og gennem fermenteringsprocesser. I Østen har man i århundreder mørnet tiarmede blæksprutter i deres eget blæk eller indvolde, som indeholder effektive enzymer, der nedbryder kollagen.

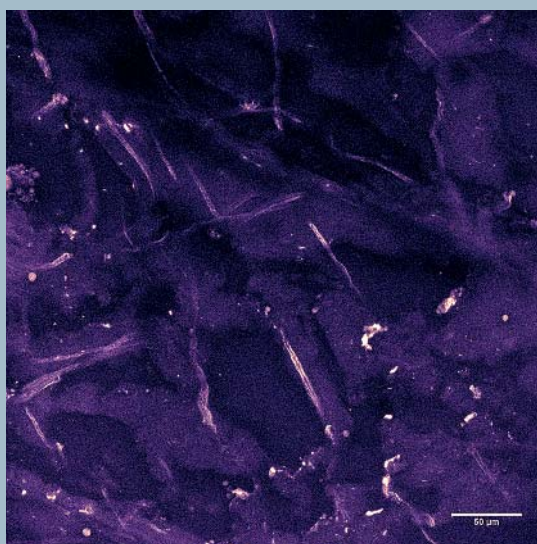
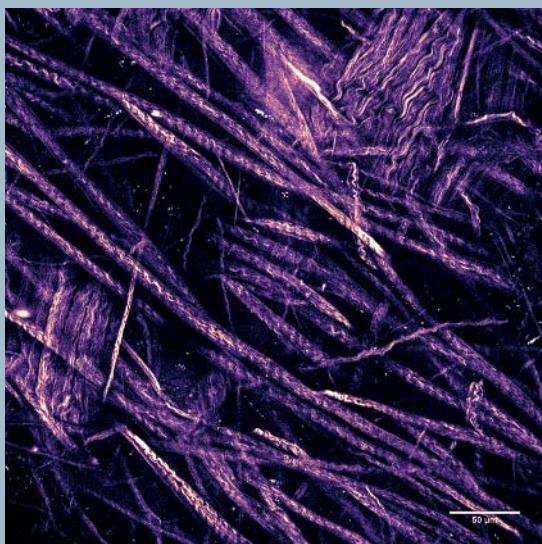
Vi har arbejdet med en række forskellige fermenteringsteknikker til

at mørne *Loligos* kappe og finner, ligesom vi har undersøgt effekten af forskellige tilberedningsteknikker, der omfatter påvirkning med salt, syre, dehydrering samt forskellige typer af varmepåvirkning.

Som eksempel vil vi her vise, hvorledes såkaldt *sous vide*-varmetilberedning påvirker tekturen, som vi kan måle med mekaniske teknikker og beskrive ved at afbilde kollagen-netværket med en speciel slags lysmikroskopi. Med dette arbejde har vi fundet tilberedningsteknikker, som kan føre til nye produkter, der måske kan fange danskernes interesse som et bæredygtigt, maritimt alternativ til kød fra landdyr.

Sous vide-varmebehandling af tiarmede blæksprutter

Sous vide betyder under vakuum og foregår simpelthen ved, at stykker af musklen anbringes i en plastikpose, og luften suges ud. Herefter kan man varmebehandle kødet ved at lægge posen i et varmebad med velkontrolleret temperatur, uden at kødet mister saft. Efterfølgende kan man også kortvarigt stege kødet ved høj temperatur for at give det smag af de smags- og aromastoffer, som dannes ved højere temperaturer



Anden-harmonisk mikroskopi

Visse materialer har den egenskab, at de ved belysning med kraftigt laserlys, genererer lys med præcis den halve bølglængde af det indkomne lys. Fænomenet kaldes anden-harmonisk generation og kræver, at materialets molekulære struktur har en høj grad af orientering, men samtidig ikke er symmetrisk omkring et center. Heldigvis er kollagen én af få biologiske strukturer, der kan genere et anden-harmonisk signal, hvilket vi kan udnytte til at afbilde strukturen af blækspruttemuskler for at afklare, hvilke mikroskopiske forhold, der ændrer sig, når vi varmebehandler musklerne.

Mikroskopibilleder af kollagen-strukturen i kappen af *Loligo forbesii* før (til venstre) og efter *sous vide*-behandling ved 55 °C i 30 min. Opvarmningen nedbryder kollagen-netværket og musklen bliver mere mør.

end i vandbadet. Ved at variere vandtemperatur, tider og eventuelt andre faktorer som forudgående nedfrysning, kan vi fremstille en række prøver, som efterfølgende kan vurderes sensorisk ved at smage på produktet, og derefter undersøges kvantitativt og systematisk ved såkaldte teksturmålinger.

En teksturmåling kan foretages med et mekanisk måleinstrument, som med stor præcision måler sammenhængen mellem den kraft, som en probe påvirker fødevareren med, og graden af deformation af fødevareren. Man kan populært sige, at man med denne teknik efterligner en tyggebevægelse, og proben virker som en tand.

Sous vide-eksperimenterne på tiarmede blæksprutter viser, at der er en tydelig effekt på mørheden. Dog giver en lang tilberedningstid,

som resulterer i det mindst hårde og dermed mest møre resultat, ikke nødvendigvis det bedste sensoriske resultat. Sensoriske bedømmelser viste nemlig, at en relativ kort *sous vide*-tilberedningstid gav den bedste smag og mundfølelse, men lange tider fører til en overkogt overflade samt en for blød og ensartet tekstur gennem hele biddet, hvilket af testpersonerne blev opfattet som mindre frisk og mere fisket.

Nedfrysning af blæksprutter benyttes ofte til at dræbe parasitter, og visse kokke har påstået, at det fører til en mere mør tekstur af blæksprutter. Vores teksturmålinger viser, at man muligvis med fordel kan nedfryse sin blæksprutte ved -20 °C, hvis formålet er at spise den rå. Skal den derimod spises dampet eller ved anden tidberedningsteknik, for eksempel pandestegning, har nedfrysningen

en relativt lille, men negativ, effekt på mørheden. Det gælder dog kun for tiarmede blæksprutter. For ottearmede mørner nedfrysning teksturen betydeligt.

Ved hjælp af såkaldt anden-harmonisk mikroskopi kan vi få dybere indsigt i, hvordan den mikroskopiske struktur af blæksprutternes muskler er blevet påvirket under vores forskellige tilberedninger og dermed etablere en sammenhæng mellem den målte (og eventuelt sensorisk observerede) tekstur og den molekulære struktur af musklen.

Vores mikroskopiundersøgelser viser for tiarmede blæksprutter, at kollagen-strukturen påvirkes ved opvarmning med *sous vide*-teknikker og ved egentlig kogning og medvirker til at løsne den krydsbundne kollagen-struktur, hvilket svarer til en mørning af musklen.

Teksturmåling

En teksturmåler (se foto) anvendes indenfor mange forskellige industrier, idet den kan måle udvalgte karakteristika og egenskaber relateret til den måde, materialer bøjer, flyder, klistrer eller brækker på. Alt efter valg af metode (kompression, penetration, skæring, etc.) og probe (cylinder-stempel, knivskær, kugle etc.) kan man måle forskellige teksturparametre. Resultatet af målingen er sammenhængen mellem den kraft, hvormed maskinen trykker, og musklens deformation over den tid, kraften virker.

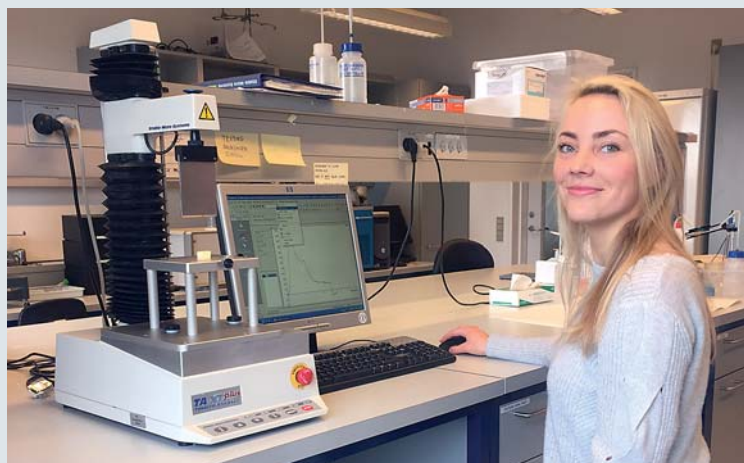
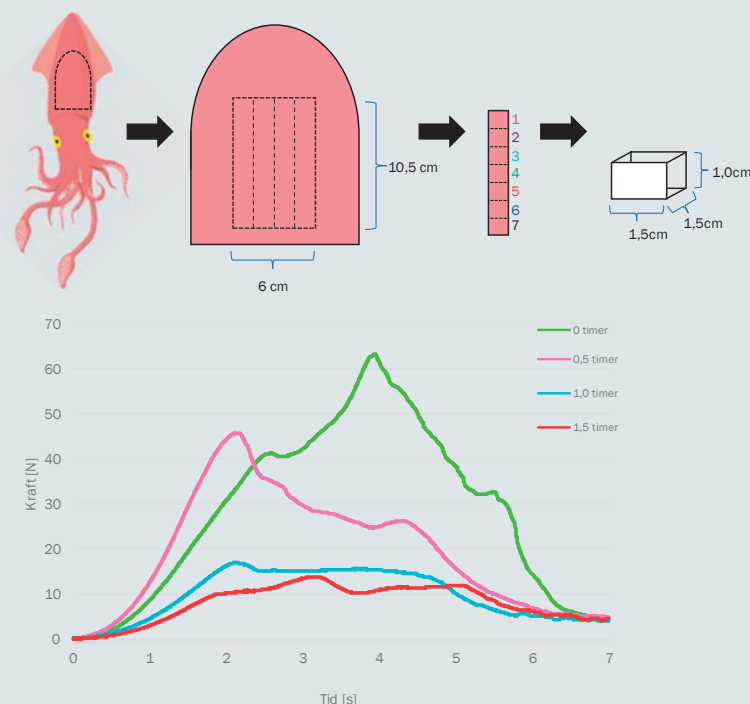


Foto: Charlotte Vinther Schmidt

Fortolkningen af resultaterne kan give oplysning om alt fra hårdhed, spændstighed og sejhed til klistrethed såvel som sprødhed. For teksturmåling af blæksprutter kan man for eksempel måle den maksimale skæringskraft (hårdhed) samt arealet under kraftkurven (sejhed), som er omvendt korreleret til mørhed.

I midten ses udsæringen af prøver fra blæksprutters kappe. Nederst ses resultatet af teksturmålingen som et diagram med kraften målt i Newton som funktion af tiden målt i sekunder for fire forskellige *sous vide*-tilberedningstider: 0; 0,5; 1,0 og 1,5 timer.



Fremtidens mad: spis blæksprutter!

Det er oplagt at se til havets ressourcer for at skaffe mere og mere bæredygtig føde med stort proteinindhold til verdens voksende befolkning, og her melder blæksprutterne sig som en ressource, der måske kunne være værd at se nærmere på.

Blæksprutter er blevet kaldt havets ukrudt, fordi de breder sig hurtigt, selv efter ændringer i havmiljøet. En ny stor undersøgelse har overraskende vist, at der er en klar global vækst i alle populatio-

ner af blæksprutter i modsætning til nedgangen i fiskebestandene. Resultaterne fortolkes således, at blæksprutterne har profiteret på klimaændringer og højere vandtemperaturer og har skærpet konkurrencen over for fiskene. Fangsten af blæksprutter udgør globalt knap 5 % af det samlede volumen af fiskeri i havet. Det er dog en fordobling siden 1980. Blæksprutter er derfor en vigtig og voksende kilde til animalsk protein.

En ting er, at blæksprutter er en uudnyttet fødekilde fra havet og måske endda en kilde, som er i

vækst, og hvor menneskets påvirkning endnu ikke kan spores som negativ. En anden ting er, om vi vil spise dem. Hvad der mangler i Danmark for at få blæksprutternes fantastiske potentiale forløst er, at de både skal gøres mere tilgængelige for forbrugerne, og der skal arbejdes for, at blæksprutter fanget i danske vande når frem til danske forbrugere. Dertil kommer, at vi skal lære at tilberede dem, så de ikke bliver seje, men har en behagelig og velsmagende tekstur. *Blækspruttebanden* håber med sit arbejde at bidrage til at nå disse mål.

Videre læsning
Doubleday ZA et al. Global proliferation of cephalopods. *Cur. Biol.* 26, R406-R407 (2016).

Hanlon RT, Messenger JB. *Cephalopod Behavior*. Cambridge University Press, Cambridge (1996).

Jensen, F. Blæksprutter. *Natur og Museum*, Aarhus. Nr. 2, juni, 2005.

Mouritsen OG, Styrbæk K. Blæksprutterne kommer – spis dem! *Gyldendal*, København (juni 2018).

Om forfatterne



Jon Tofteskov er ph.d. fra Institut for Naturvidenskab og Miljø, RUC. Han er også kandidatuddannet fra RUC i matematik og fysik. jontoft@ruc.dk



Mari Ann Tørngren er seniorkonsulent ved Danish Meat Research Institute (DMRI), Teknologisk Institut. Hun er specialist i fersk køds kvalitet, pakningsteknologier, farvestabilitet m.m. matn@teknologisk.dk



Mogens Larsen Andersen er professor MSO ved Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet. Hans forskningsområde er fysisk og kemisk stabilitet af fødevarer. mola@food.ku.dk



Nicholas Patrick Bailey er lektor i fysik ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, RUC, hvor han primært forsker i seje væskers dynamik og glasovergangen. nbailey@ruc.dk



Jesper Schmidt Hansen er professor MSO i integreret naturvidenskab ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, RUC, hvor han primært forsker i matematisk modellering og nanovæskers dynamik. jschmidt@ruc.dk



NATURVIDENSKAB I KØDPAKKEN

Hvad foregår der egentlig i en pakke fersk kød, der ligger i køledisken i supermarkedet? Det har forskere nu beskrevet i to matematiske modeller, hvilket kan bidrage til at udvikle mere optimale metoder til at pakke fersk kød.

Ser du på en pakke fersk kød fra dit lokale supermarked, er det faktisk et yderst aktivt, dynamisk system, du betragter – her forløber mikrobiologiske, fysiske og kemiske processer. På varedeklarationen vil du ofte kunne læse, at kødet er pakket i en beskyttende atmosfære. Den beskyttende atmosfære er typisk en gasblanding bestående af ilt, kuldioxid og nitrogen – altså blot gasser, der allerede findes i den luft, vi indånder. Alt afhængig af fødevaren vil blandingsforholdet være forskelligt. For eksempel er frugt pakket i en atmosfære med lavt iltindhold, idet man ønsker at hæmme oxidationsprocesserne, det vil sige de biokemiske reaktioner i frugten, som giver misfarvning og sænker holdbarheden. Man må på den

anden side heller ikke pakke frugten ved for lave iltkoncentrationer, da dette leder til anaerob respiration, og det vil fordærve frugten hurtigt.

I pakning af kød er der andre processer på færde, og en anden strategi benyttes derfor. Fersk kød pakkes ved høje iltkoncentrationer – omkring 60 til 80 % af atmosfæren – da dette giver kødet den ønskede røde farve i hele holdbarhedsperioden. Den røde farve fremkommer ved, at ilten bindes til kødets pigmentstof myoglobin. Ved disse iltforhold vil aerobe iltforbrugende bakterier trives, og for at hæmme bakterievæksten udgøres den resterende atmosfære i pakningen typisk af kuldioxid.

Den optimale fødevarerpakning er

altså betinget af en række biologiske og kemiske processer i fødevaren. Det er et kompliceret system, hvis forståelse involverer en række forskellige fagligheder som biologi, kemi og fysik. Ved at optimere pakketeknologien vil man øge den tid fødevarerproduktet, i dette tilfælde kød, kan opbevares i butikkerne, og det vil derfor bidrage til at reducere madspild. Hvis kødets mikrobiologiske og kemiske processer kortlægges, vil man på sigt kunne forudsige og delvist kontrollere kvaliteten af kød. Det vil gøre det muligt at designe intelligente fragtkontainere beregnet til eksport af dansk fersk kød til fjernmarkeder.

Vores forskningsgruppe, bestående af medlemmer fra Roskilde Universitet, Danish Meat Research

Processer i kødpakken

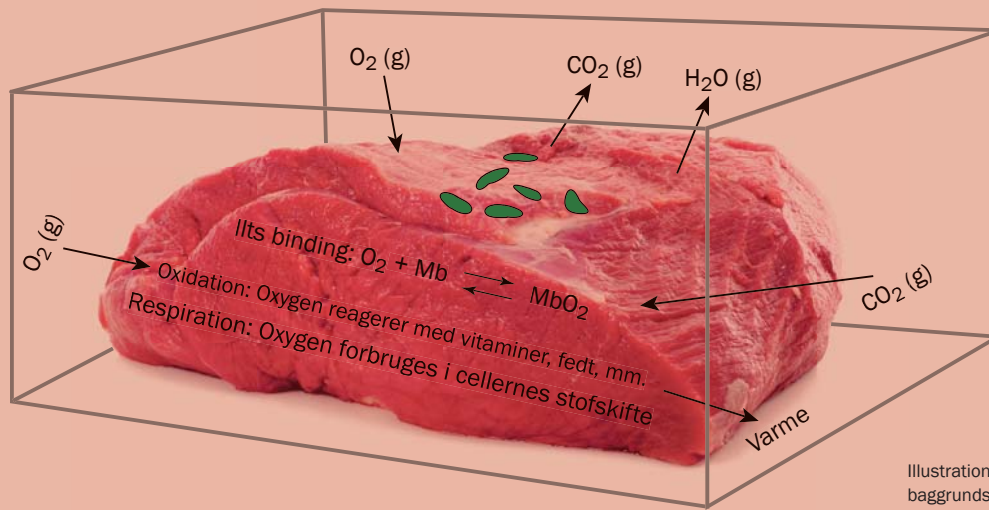
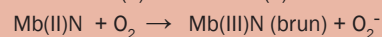
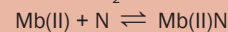
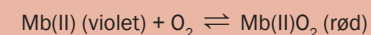


Illustration: AN,
baggrundsfoto:
Colourbox

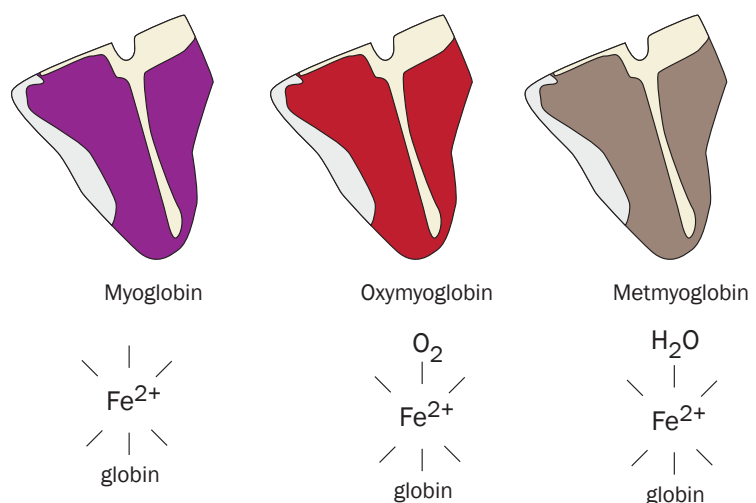
Figuren illustrerer nogle af de mange processer, der foregår på og i kødet efter slagtning og pakning. Herhjemme pakkes fersk kød i dag i en beskyttende atmosfære, som består af 20-30 % kuldioxid og 70-80 % ilt. Den høje iltkoncentration giver kødet den røde farve, mens kuldioxid hæmmer bakterievæksten. Bakterierne findes på kødets overflade, og deres vækst er den primære årsag til iltforbruget i den beskyttende atmosfære. Når et dyr slægtes, vil der stadig være aktive stofskifteprocesser i det ferske kød, hvilket også forbruger ilt og producerer kuldioxid, varme og vand. I kødet forekommer også andre processer som oxidation af vitaminer, fedt, strukturproteiner samt myoglobin, som

kontinuerligt vil ændre kødets smag, tekstur og farve. Specielt interessant er her, at myoglobin, Mb(II), kan binde ilt og give kødet dens røde farve. Myoglobinen oxideres også til det gråbrune metmyoglobin, Mb(III). Parenteserne indikerer myoglobins oxidationstrin. Det overordnede reaktionsskema kan skrives som



hvor N er en nukleofil (det vil sige et molekyle, der donerer elektroner til et andet molekyle), muligvis vand, og O_2^- er superoxid.

Institut og Københavns Universitet har netop afsluttet et 3-årigt ph.d.-projekt, hvor den biologiske, kemiske og fysiske viden, der findes på området, er integreret i to matematiske modeller. Den første model beskriver myoglobins forskellige former, det vil sige kødets farve, som funktion af tid og afstand fra kødets overflade. Den anden model beskriver dynamikken af pakkens atmosfære. Projektets formål har ikke været at angive en produktionsopskrift på et design af den optimale pakning, men via modellering at belyse processerne, der er relevante for et sådan design. Projektet er eksemplarisk idet det tydeligt illustrerer, hvordan flere naturvidenskabelige fag skal i spil for at give svar på et konkret spørgsmål.



Uden binding til ilt er myoglobin violet (til venstre). I en iltfyldt atmosfære vil kødets myoglobin binde ilt (oxy-myoglobin), hvilket giver en rød farve (i midten). Ilden vil endvidere kunne oxidere myoglobinen, og det resulterer i grå-brunt metmyoglobin (til højre). Metmyoglobin er også tydelig, når man tilbereder kød ved stegning eller kogning.

Reaktions-diffusionsligningen

Modelleringen af kødet og gasserne i den beskyttende atmosfære er baseret på den såkaldte reaktions-diffusionsligning. Den beskriver basalt set, at ændring per tid af et kemisk stof i et givet punkt og på et givet tidspunkt er en sum af ændringer på grund af kemiske reaktioner og diffusion. Diffusion forekommer, når der eksisterer koncentrationsforskelle i kødet. Når man benytter reaktions-diffusionsligningen, antager man, at der ikke en væskestrøm i systemet.

Matematisk kan dette skrives som en partiel differentialligning. For koncentrationen c_1 i et punkt vil det være

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} = f(c_1, c_2, \dots) + \nabla \cdot (D \nabla c_1).$$

Venstre side er altså den afledte af koncentrationen c_1 med hensyn til tiden, det første led på højre side beskriver de kemiske reaktioner, og sidste led diffusionen. I diffusionsleddet indgår den såkaldte 'del'-operator, ∇ , som indeholder de afledte med hensyn til position og D , som er diffusionskoefficienten. Gradienten, $D \nabla c_1$, fortolkes som strømmingen (eller fluxen) af stof c_1 , som forekommer på grund af koncentrationsforskelle. Hvis der er samme koncentrationsforskel overalt, er gradienten

konstant, og der vil ikke være nogen ændring i koncentrationen: Stof vil strømme ind i punktet med samme hastighed, som stoffet vil strømme ud. Dette beskrives via divergensen af fluxen, $\nabla \cdot (D \nabla c_1)$, som altså er et mål for, hvor meget stof, der strømmer ind i et punkt i forhold til, hvor meget der strømmer ud. Læg også mærke til, at de kemiske reaktioner kan være afhængige af koncentrationerne af andre kemiske stoffer end blot c_1 .

Vores to modeller består af tre og fire koblede reaktions-diffusionsligninger. Under visse antagelser kan diffusionsleddet i den ene model forenkles og ligningerne er ordinære differentialligninger. Da de generelt er ikke-lineære, kan man ikke finde en analytisk løsning. Generelt bruger vi derfor numeriske metoder til at løse dem.

Reaktions-diffusionsligningen benyttes ikke kun i fysisk-kemiske problemstillinger, men er brugt som modeller for sygdomsspredning, i økonomiske systemer og meget andet. Ligningen blev også brugt af matematikeren Allan Turing i 1950'erne, da han fik et gennembrud i forskningen i morfogenese, det vil sige struktur- og mønsterdannelser i biologiske systemer.

Resultaterne præsenteret her i artiklen stammer fra et 3-årigt ph.d.-projekt i vores forskningsgruppe bestående af medlemmer fra Roskilde Universitet, Danish Meat Research Institute (DMRI), og Københavns Universitet. DMRI er en del af Teknologisk Institut og udvikler løsninger til og rådgiver både den nationale og internationale kødindustri. Eksperimenterne i projektet blev foretaget på DMRI. Projektet er blevet støttet af Norma og Frode Jacobsens Fond.

Hvorfor bliver kødet brunt?

I enhver modelleringsproces skal der foretages en systemafgrænsning. I den første model har vi valgt at fokusere på de fysisk-kemiske processer indeni kødet. Iltten vil binde sig til pigmentmolekylet myoglobin i muskeltvævet og give den ønskede røde farve. Ilt kan også oxidere myoglobin, hvilket giver kødet en kedelig grå-brun farve, som forbrugerne ikke finder appetitlig. Det interessante her er, at den brune farve ikke starter ved kødets overflade, hvor iltkoncentrationen er højest, men under overfladen, hvor iltkoncentrationen er lav. Dette må nødvendigvis være et ikke-lineært reaktionsfænomen, der er forbundet med diffusion af ilt: Ilt nær kødets overflade bindes til myoglobinen og giver den røde farve, men noget diffunderer videre ind i kødet, hvor ilt-koncentrationen så er lavere. Her vil ilt oxidere myoglobinen til den brune farve.

Med ord kan dette matematisk udtrykkes sådan, at i ethvert punkt i kødet vil: (ændring i koncentrationen af et kemisk stof) = (ændring

på grund af kemiske reaktioner) + (ændring på grund af diffusion).

Dette kaldes *reaktions-diffusionsligningen*, og den formuleres matematisk som en såkaldt partiel differentialligning (se faktaboks). Reaktions-diffusionsligningen er et specielt tilfælde af massebevarelsesloven. Ledet, der beskriver ændring på grund af kemiske reaktioner, kan være ikke-lineært – det er faktisk tilfældet for de fleste kemiske systemer – og kan beskrive oxidationen af myoglobin ved lave iltkoncentrationer.

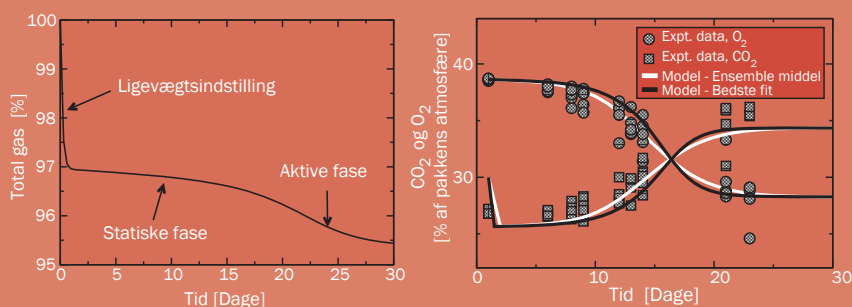
Med hjælp fra litteraturen og gennem revisioner af de eksisterende kemiske modeller har vi nu en fysisk-kemisk-matematisk model, der redegør for, hvordan dannelsen af den uønskede brune farve afhænger af iltkoncentrationen på overfladen af kødet. Det er interessant, at modellen forudsiger, at fortsat respiration i mitokondrierne i kødets celler efter slagtning bestemmer iltforbruget indeni kødet. Det skal derfor inkluderes i den kemiske reaktion, hvis farven skal kunne

bestemmes. Faktisk er myoglobins iltforbrug så lille, at man kan se bort fra det i beskrivelsen af iltens dynamik. Modellen er dynamisk, hvilket betyder at man kan studere systemet, hvis for eksempel iltkoncentrationen ved kødets overflade ændres pludseligt. Det kan ske ved transportskader, hvor der går hul på pakningen eller atmosfæren ændres på anden vis. Endvidere er den mekanisk: Den beskriver de underliggende processer, der er styrende for den dynamiske opførsel.

Hvad sker der i den beskyttende atmosfære?

I den anden model har vi fokuseret på gassernes dynamik, da dette både påvirker mikrobiologien, altså kødets holdbarhed, og kødets farve. Når kødet pakkes og forsegles, kan man med tilnærmelse antage, at kødet og atmosfæren tilsammen udgør et lukket system – dette er dog ikke helt korrekt, da gasserne vil kunne trænge igennem emballagen. Med denne antagelse vil der være to iltforbrugende processer i systemet: bakterievæksten på kødets overflade og bio-kemiske reaktioner

indeni kødet. Begge disse processer skal inkluderes i den matematiske model. Systemet kompliceres yderligere af, at koblingen mellem den beskyttende atmosfære og kødet skal medtages – for eksempel vil bakterievæksten forbruge betydelig mængder af ilt i pakningen, hvilket ændrer overfladebetingelsen på kødet. Dette system har vi igen kunne formulere matematisk via reaktions-diffusionsligningen, og modelparametrene er blevet bestemt ud fra data fra forsøg med svinekød foretaget på Danish Meat Research Institut. Fra modellens resultater kan vi konkludere, at dynamikken i den beskyttende atmosfære er bestemt af to processer, nemlig bakterievæksten og diffusion af kuldioxid ind i kødet. Kuldioxid bliver produceret og ilt forbrugt i takt med, at bakteriekolonien vokser, og da kuldioxid har en højere opløselighed i kødet end ilt, vil mere gas opløses i kødet og den totale gasmængde i den beskyttende atmosfære falde med tiden. Dette fænomen kan du observere i kødpakningen, ved at den gennemsigtige plastik på toppen buer mere og mere ned mod pakkens bund.



Diagrammet til venstre viser sammenligning af eksperimentelle data og modelforudsigelser for koncentrationen af kuldioxid og ilt i den beskyttende atmosfære i pakken. Temperaturen er 5 grader Celsius. Til højre ses de tre faser for gassens dynamik i pakkens beskyttende atmosfære. I den første fase vil kuldioxid opløses i kødet – dette ses også på resultatet til venstre. I anden fase er gasmængden stort set konstant. I den tredje fase efter cirka 15 dage er bakterievæksten høj, hvilket forbruger ilt og producerer kuldioxid. Kuldioxid har en høj opløselighed i kød i forhold til ilt, hvilket medfører at gas forsvinder fra atmosfæren i pakken og ind i kødet. Dette fænomen kan ses i køledisken i supermarkedet, ved at filmen buer ned mod pakkens bund.

Denne model kan også forudsige gassammensætningen på kødets overflade, altså beskrive den korrekte randbetingelse for modellen for kødets farve. På den måde skal begge modeller i spil, når kødets farve skal kunne forudsiges.

Fremtidens pakketeknologi

Når man benytter pakning i beskyttende atmosfære, er det i dag ikke muligt at ændre på gassammensætningen, efter pakken er forseglet, og systemets dynamik er derfor

bestemt af de biologiske, kemiske og fysiske processer, der er i og på kødet. I næste generations pakketeknologi vil det derimod blive muligt løbende at kontrollere atmosfæren i pakken. Det kan ske via specialdesignet film til emballagen eller ved at frigøre ilt løbende til pakkens atmosfære via små kemiske ampuler indeni pakken. Da vores modeller som nævnt er både dynamiske og mekaniske, vil de også kunne bidrage til forståelsen og optimeringen af denne fremtidige pakketeknologi. ■

ASTRONOMI

Ny specialisering på SDU

13,7 mia. år efter Big Bang sker det endelig.

Nu kan du læse Astronomi på SDU og fordybe dig i studier af Universet – fra solsystemet til sorte huller og fra kosmologi til mørkt stof.

Astronomi er en specialisering inden for Fysik. Så vil du være astronom fra SDU, skal du søge ind på bacheloruddannelsen i Fysik og følge kurser inden for Astronomi, Astrofysik og Kosmologi. Du kommer til at arbejde med SDUs helt nye teleskoper og skal på kandidatuddannelsen på studietur til La Palma og benytte et af Europas største teleskoper.

Som studerende bliver du en del af et særdeles dedikeret forskningsmiljø. SDU ligger helt i top inden for fysikforskning i Norden, og vi er

verdensledende inden for forskning i teorier om, hvad universet består af, og hvordan det er opstået. SDUs forskere og astrofysiker Anja Andersen er undervisere på specialiseringen.

Mange karrieremuligheder

Specialiseringen i Astronomi giver dig undervisningskompetence i Astronomi, Fysik og evt. også Matematik i gymnasiet. Du får også karrieremuligheder i robotindustrien, finansverdenen, IT-branchen og andre områder, som arbejder med problemløsning på højt niveau. Eller du kan vælge at blive forsker og være med til at gøre nye spændende opdagelser inden for de mange områder af universet, som stadig er ukendte. Endelig kan du arbejde med vidensformidling.

Læs mere om specialiseringen i Astronomi på sdu.dk/Fysik

SDU

DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET

Ansøgningsfrister: **Kvote 2:** 15. marts · **Kvote 1:** 5. juli

En flok fouragerende edderfugle med gamle hanner og hunner (brune fugle) – nogle med blåmusling i næbbet. Foto: Jan Skriver.



Forfatterne:



Karsten Laursen er seniorforsker emeritus ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. kl@bios.au.dk



Anders Pape Møller er professor ved Ecologie Systématique Evolution, Université Paris-sud, Orsay, Frankrig. anders.moller@u-psud.fr



Keith A. Hobson er professor ved Environmental and Climate Change Canada, Saskatoon, SK, Canada og University of Western Ontario, London, ON, Canada. khobson6@uwo.ca

HVORFOR ER EDDERFUGLE BLEVET STØRRE?

En sammenligning af edderfugle indsamlet for over 100 år siden med edderfugle i dag viser, at edderfuglene er blevet tungere og deres fjer længere. Sandsynligvis skyldes denne ændring mere tilgængelig føde, der hænger sammen med en øget udledning af kvælstof.

Siden 1911 er højden af mænd blevet målt, når de mødte til session. Og derfor ved vi, at den gennemsnitlige højde af unge, danske mænd er steget gennem denne periode. Mere konkret viser tallene ifølge Danmarks Statistik, at den gennemsnitlige højde fra 1911 og frem til 1999 er steget med næsten 12 cm, fra 169 cm dengang til knap 181 cm i 1999. En stigning på 6,9 %. Eller hvis der sammenlignes med gennemsnittet for 1991-2011, er stigningen på 6,6 %.

Det viser sig nu, at edderfugle viser en lignende tendens. Vi har undersøgt edderfugle indsamlet i perioden 1872-1962 (med gennemsnit

i 1907) i de danske farvande og sammenlignet med edderfugle indsamlet i 2014-2016. Vores målinger viser, at vingerne hos edderfuglene er blevet længere, i alt 5,6 %. Vingerne er vokset fra 288 mm i gennemsnit hos fuglene indsamlet i begyndelsen af 1900-tallet til 304 mm hos de seneste edderfugle. Kropsvægten er ligeledes blevet større. Den er steget fra 2,17 kg i gennemsnit til 2,28 kg hos fugle i dag, i alt en stigning på 5,1 %.

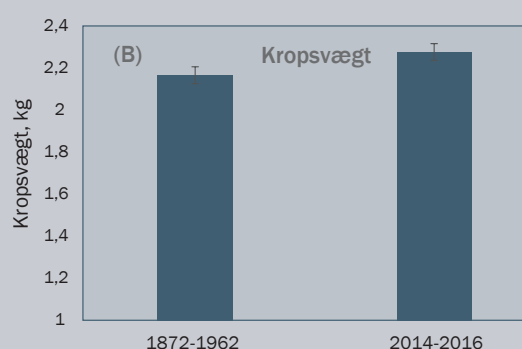
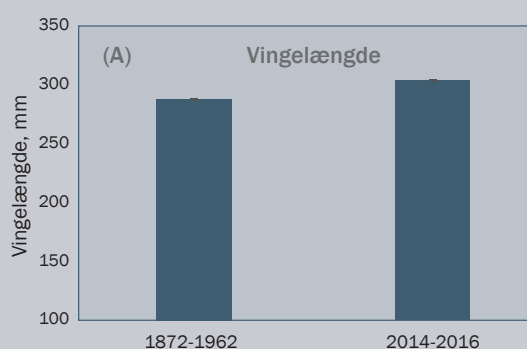
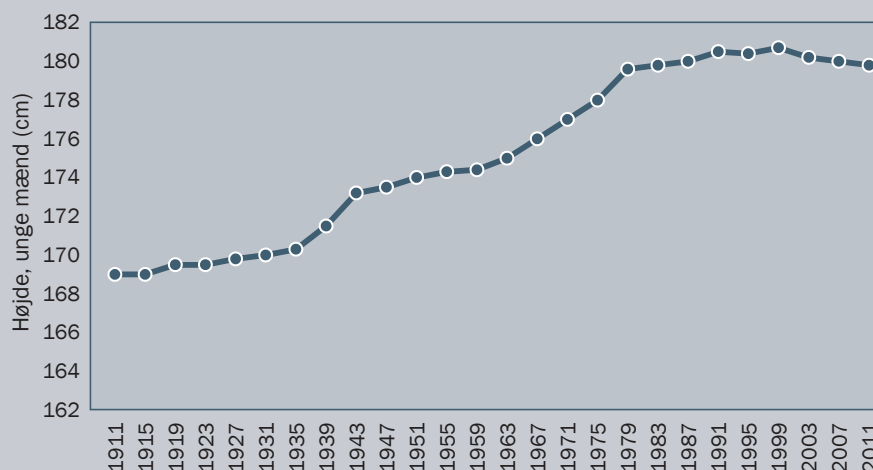
Den gængse forklaring på den stigende gennemsnitshøjde hos unge mænd er, at kosten i de mellemliggende cirka 90 år er blevet bedre og mere proteinrig, og frem for alt er mængden af føde blevet større.

Hvad er forklaringen på, at edderfuglene i omtrent samme periode også er steget, både i størrelse (vingelængde) og i kropsvægt? Det vides ikke med sikkerhed. Men en forklaring kan være, at grunden til udviklingen er den samme som for de unge mænd, nemlig at føde for edderfugle er blevet bedre og forekommer i større mængde.

Kvælstofisotoper fortæller om fuglenes kost

At ernæring er en mulig forklaring skyldes, at vi også har undersøgt kvælstofisotoper i fjerene af edderfuglene. Forholdet mellem de to stabile kvælstofisotoper N-15 og N-14 (kaldet $\delta^{15}\text{N}$ = delta-N-15) kan nemlig fortælle os noget om,

Højden af unge mænd målt på session 1911-2011. Bemærk, at væksten stiger op til 1999, hvorefter den falder en smule. Grunden til den faldende tendens efter 1999 kendes ikke med sikkerhed. Det antages, at den genetisk bestemte maksimale gennemsnitshøjde er nået, og at der er en variation omkring dette gennemsnit. (Kilde: Danmarks Statistik).



Den gennemsnitlige vingelængde (A) og kropsvægt (B) hos edderfugle indsamlet i danske farvande i hhv. 1872-1962 og i 2014-2016.

hvad fuglene har levet af. N-15 dannes ved nedbrydning af organisk kvælstof fra husdyrgødning, husspildevand og brugen af fossile brændstoffer. Når kvælstof fra markerne nedbrydes til N-15 og føres med drænvand til søer og åer for til sidst at ende i havet, optages det sammen med den almindelige isotop N-14 i plankton, som filtreres af muslinger og indlejres i deres væv. Muslinger, især blåmuslinger, er det foretrukne fødeemne for edderfugle. Edderfugle med blåmuslinger i muskelmaven har en større kropsvægt end edderfugle, der har taget andre byttedyr. Kvælstofisotopen N-15 optages af edderfuglene og indgår i kroppens celler og bruges som andre atomer af kvælstof i opbygning af molekyler i fjerene. Fjerene fældes en gang om året, og nye fjer bygges – for vingefjerene sker det i sensommeren. Fjerene udvikles med daglige tilvækstlinjer, som vi kender det fra årringe hos træer, dog er denne tilvækst for fjer per dag. En

sammenligning af kvælstofisotoperne N-15 og N-14 i edderfuglenes fjer viser, at andelen af isotopen N-15 er steget fra 9,98 ‰ i de tidlige fugle til 13,03 ‰ i dag, en stigning på 30,6 %. Denne stigning har en statistisk signifikant sammenhæng med stigningen i gødningsforbruget og viser en tydelig dosis-sammenhæng, det vil sige at en stigning i kvælstof hænger sammen med en øget tilvækst. Andre undersøgelser har vist, at der er en sammenhæng mellem mængden af gødning samt mængden af blåmuslinger og bestanden af edderfugle i en stor koloni af edderfugle på Christiansø ved Bornholm. Samlet tyder det på, at edderfuglene har forøget deres vægt og vingelængde som følge af mere føde i form af blandt andet flere blåmuslinger. Udvaskning af kvælstof har medført, at produktionen af alger i de kystnære farvande er steget. Og det har medført, at der har været mere føde til edderfuglene de seneste år, end det var tilfældet for cirka 100 år siden.

Hurtigere vækst – men med en pris

Den voksende vingelængde og kropsstørrelse hos edderfugle har dog også negative sider. Udover at måle de daglige tilvækstlinjer i fjerene, har vi også noteret slitage og brud på fjerene. Det viser sig, at fjerene voksede langsommere for 100 år siden, og der var færre skader på fjerene end det er tilfældet hos de nulevende fugle. Det hænger antagelig også sammen med den forøgede kvælstofmængde i farvandene i de senere år. Den rigelige føde giver en hurtig vækst af fjerene og dermed en mindre styrke, således at kvaliteten af fjerene afvejes mod kvantiteten. Edderfuglenes fjerfældeperiode er således blevet kortere hos fugle i dag, fordi fjerene vokser hurtigere ud, men til gengæld er fjerens struktur blev svagere, og de går lettere i stykker. Det kan have fatale følger i kritiske situationer, hvor fjerene udsættes for maksimal belastning, når

Undersøgelse af edderfugle

De "gamle" edderfugle, som er brugt til denne undersøgelse er fra Zoologisk Museum, Københavns Universitet. Her har man indsamlet edderfugle gennem en lang årrække. De ældste er fra 1872, men siden 1900 har indsamlingen været mere systematisk. I alt har vi målt 70 edderfugle fra museets samling, hvoraf de fleste er fra 1900-1920. Disse er sammenlignet med edderfugle indsamlet i 2014-2016 af forskere ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. For begge grupper har vi målt kropsvægt, vingelængde,



Edderfugle i Zoologisk Museums samling. Foto: Jan Bolding Kristensen.

de, fjerlængde, tilvækstzoner på fjer samt slitage og brud på fjerene. For museumsfuglene var kropsvægten angivet på etiketten for en stor del af fuglene. Desuden blev der indsamlet en dækfjer fra vingen af hver fugl. Fjerene er analyseret for kvælstofisotopen N-15 af Keith A. Hobson ved Environmental and Climate Change Canada, Saskatoon, Canada.

Undersøgelsen er støttet af 15. juni Fonden.

Kvælstof og fødekæden

Mængden af kvælstofisotopen N-15 i forhold til N-14 (kaldet $\delta^{15}\text{N}$) i en marin organisme indikerer, hvor den hører til i fødekæden (det trofiske niveau). Det skyldes, at organisk væv "foretrækker" at indlejre N-15 fremfor N-14, og derfor sker der en opkoncentrering af N-15 gennem fødekæden. Forøgelsen af $\delta^{15}\text{N}$ er på cirka 3,2

‰ fra det ene trofiske niveau til det næste. Hvis vi betragter vores system skematisk, har det fire niveauer:

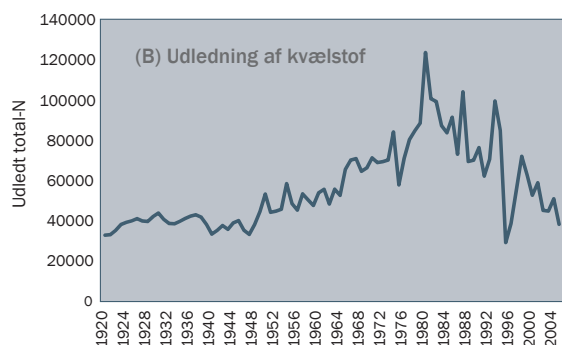
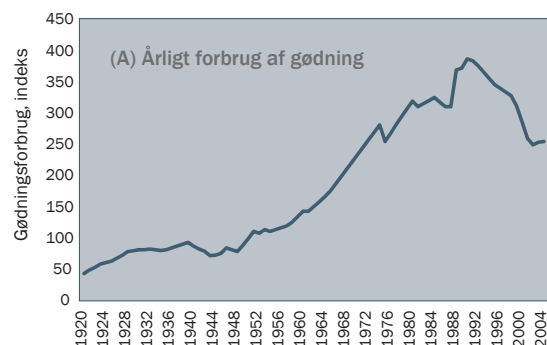
Fra planteplankton til dyreplankton og videre til blåmuslinger, som til sidst ædes af edderfugle. Det bliver i teorien til 12,8 ‰ $\delta^{15}\text{N}$ ($3,2 \times 4$). Det er tæt på de 13,03 ‰, som vi målte i fjerene i edderfuglene i dag.

Videre læsning
Conley, D.J., Carstensen, J., Ærtebjerg, G., Christensen, P.B., Dalsgaard, T., Hansen, J.L. & Josefson, A. B. (2007). Long-term changes and impact of hypoxia in Danish coastal waters. *Ecological Applications* 17(5 Supplement):165-184.

Hansen, R.W. (ed) (2015). *Marine Områder 2014*, NOVANA. Scientific report from DCE no. 167. Aarhus University, Aarhus, Denmark (In Danish).

Laursen, K. & Møller, A. P. (2014). Long-Term Changes in Nutrients and Mussel Stocks Are Related to Numbers of Breeding Eiders *Somateria mollissima* at a Large Baltic Colony. - *PLoS ONE* 9 (4): e95851. doi:10.1371/journal.pone.0095851

Møller, A. P., Laursen, K. & Hobson, K. A. (2018). Retrospective analyzing condition in historical samples of birds. *Journal of Zoology*. Doi:10.1111/jzo.12551



Mængden af gødning i dansk landbrug er faldet. Dermed er den mængde næringsstoffer, der vaskes ud fra markerne og som ender i havet blevet mindre. Det betyder igen, at der er mindre plankton til muslingerne og endelig mindre føde til edderfuglene. Figur (A) viser det årlige forbrug af gødning hos danske landmænd (indeks, 1950 = 100), og (B) viser udledning af kvælstof til danske fjordområder målt som total-N (tons).

Kilder: Buus og Zinglersen (2000) *Geografistatistik*, Geografiforlaget; Conley et al. (2007) *Ecological Applications* 17(5 Supp.):165-184.

for eksempel edderfuglene skal undslippe jægere eller rovfugle som havørnen.

Udviklingen er sandsynligvis kulmineret

Den større mængde næringsstoffer i havmiljøet har formentlig givet edderfuglene en større vægt og en hurtig vækst af fjerene. Denne udvikling kunne i princippet fortsætte så længe næringsmængden i havområderne fortsætter med at stige, og så længe der er en selektiv fordel for edderfuglene i at blive større. Men

allerede på nuværende tidspunkt ved vi, at det ikke er tilfældet. Spildevandet renses nu bedre end tidligere, og udledning af kvælstof fra markarealerne reduceres. Siden begyndelsen af 1980'erne er udledningen af total-N til havområder blevet mindre, og forbruget af gødning i landbruget er faldet siden slutningen af 1980'erne. Så edderfuglenes størrelse og deres fjervækst har sandsynligvis kulmineret.

Højden hos unge mænd har også kulmineret. Uden at der er nogen

sammenhæng med edderfugle i øvrigt. Det antages, at den genetisk bestemte maksimale gennemsnitshøjde er nået, og at der er en variation omkring dette gennemsnit. Årsagerne til variationen er genstand for undersøgelser, som tyder på, at der er flere forhold, som gør sig gældende, blandt andet miljø, samfundsforhold og politik (som fordelingspolitik og sundhedspolitik). En ting er dog helt sikkert: De unge mænds faldende højde de senere år har ikke noget med selektion at gøre, da tidshorisonten er alt for kort. ■

HENT INSPIRATION TIL

GYMNASIELÆRERDAGE

PÅ AARHUS UNIVERSITET

Underviser du i naturvidenskab i gymnasieskolen?

Så kom med til Science and Technology's gymnasielærer dage og få

- ✓ **FAGLIGT NYT FRA FORSKNINGENS VERDEN**
- ✓ **IDÉER TIL NYE UNDERVISNINGSEMNER**
- ✓ **MULIGHED FOR AT NETVÆRKE MED ANDRE UNDERVISERE**
- ✓ **PRÆSENTATION AF AARHUS UNIVERSITETS TILBUD TIL GYMNASIER**

Det er gratis at deltage, men du skal tilmelde dig på au.dk/gym

EFTERÅR 2018

Naturgeografi- og geovidenskabsdag
13. september 2018

AU Foulum:
Biologi, bioteknologi og kemi
21. september 2018

Idé- og teknologihistorie
25. oktober 2018

Teknikfag- og teknologidag
7. november 2018

FORÅR 2019

Kemidag
24. januar 2019

Fysik- og astronomidag
25. januar 2019

Matematikdag
12. april 2019

Læs mere på
og tilmeld dig på

AU.DK/GYM



AARHUS
UNIVERSITET
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Indsamling af kiselalger på havisen. Foto: Ditte Hjort.



NÅR VANDLOPPEN GØR ALGEN GIFTIG

Om forfatteren
Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab
crk@aktuelnaturvidenskab.dk



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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

**Hvordan vekselvirker vandlopper og giftige kiselalger i det sårbare arktiske miljø?
Det har danske forskere undersøgt, da denne vekselvirkning er baggrunden for,
at gift kan akkumulere gennem fødekæden og gøre dyr og mennesker syge.**

I 1987 blev over 100 mennesker syge og fire døde i Canada efter at have spist muslinger, som indeholdt nervegiften domoisyre. Dette giftstof produceres af visse arter af kiselalger, og når muslinger filtrerer vandet for plankton, kan giftstoffet koncentreres i muslingernes kød i

så store mængder, at det bliver dødeligt for mennesker og andre dyr højere oppe i fødekæden. Når man snakker om skaldyrsforgiftning, er det således oftest giftige alger, der i virkeligheden er synderen.

Selvom det kun er en lille andel af verdens tusinder af algearter, der er

giftige, udgør de et reelt problem, som de fire dødsfald tydeligt understreger. Giftige arter af kiselalger er vidt udbredt i hele verden og er kendt for at lave tætte opblomstringer. Specielt langs USA's vestkyst er der hvert år opblomstringer af giftige kiselalger, som jævnligt har kostet talrige søløver, havoddere



Kiselalgen *Pseudo-nitzschia* danner kæder af enkelte celler. Foto: Sara Harðardóttir

Kiselalger

Kiselalger (eller diatoméer, som de også kaldes) er encellede alger, der er fra 0,002 mm til 1 mm i diameter. Kiselalger findes i alle vandige miljøer; i ferskvand, i havet, i og på havis. De findes enten fritlevende som enkeltceller eller i kolonier, der i form kan være bånd-, zig-zag-formede eller stjerneformede. De hedder kiselalger, fordi cellen er omgivet af en todelt skal af kisel (SiO_2), der varierer i form og ornamentering fra art til art. De kaldes ofte havets juveler på grund af den lys-brydende effekt, som kiselshallen har.

Kiselalger er en af de store grupper af alger, og tæller flere end 200.000 arter (nulevende såvel som fossile – for eksempel består moleret på Mors primært af kiselalger). Langt de fleste kiselalger er fotosyntetiserende, og de udgør økologisk set en af de vigtigste grupper af fytoplankton. Specielt i kolde og tempererede egne bidrager kiselalger til en høj primærproduktion, og dermed er de et vigtigt led i fødekæderne. Kiselalger er anslået til at stå for 20-25 % af den globale primærproduktion.



Kiselshaller fra forskellige kiselalger Foto: Nina Lundholm

og andre dyr livet. I den mere kuriøse afdeling har en episode, hvor tusinder af "gale" – sandsynligvis domoinsyre-forgiftede – havfugle invaderede blandt andet Santa Cruz i Californien, efter sigende inspireret Alfred Hitchcock til sin berømte film *Fuglene* fra 1963.

Mens man efterhånden ved en hel del om de giftige algers effekt på økosystemerne i tempererede egne af verden, ved man meget lidt om, hvilken effekt de har i det arktiske økosystem. Ja, indtil for relativt nylig (2011) vidste man faktisk ikke med sikkerhed, om der overhovedet fandtes giftige kiselalger i Arktis. »Men det gør der, og de er vidt udbredte,« fortæller Nina Lundholm, som er lektor ved Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet. Hun har i mange år forsket i giftige alger og

har været med til at beskrive de første giftige kiselalger fra Arktis. I et projekt finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers har hun sammen med ph.d.-studerende Sara Harðardóttir og kolleger fra DTU, Tyskland og Sverige nu nærmere undersøgt, hvordan giftige alger vekselvirker med vandlopper, som er det næste trin i fødekæden.

Når algen bliver giftig

Når alger er giftige, er det måske ikke bare en tilfældighed, men en egentlig forsvarsmekanisme – det er i hvert fald den antagelse, de fleste forskere går ud fra. Der er da også konkrete observationer, der støtter den antagelse. »Vi kan for eksempel se i laboratorieforsøg, at kiselalgerne mister deres giftighed over tid, når de er i fred for andre organismer, der æder dem,« fortæller Nina. Det tyder på,

at algerne ikke bruger energi på at producere giftstofferne, når der er fred og ingen fare. Den svenske forsker Erik Selander har endvidere for nylig fundet en mulig forklaring på, hvad visse alger mere specifikt reagerer på, nemlig særlige signalstoffer, som udskilles af vandlopper. Disse signalstoffer er blevet døbt copepodamider – da copepoder er fagudtrykket for vandlopper – og de har vist sig at kunne stimulere produktionen af giftstoffet saxitoxin hos en art af dinoflagellater (også kaldet furealger).

For at kaste mere lys over signaleringsmekanismerne eksperimenterede Sara og Nina samt deres kolleger med giftige kiselalger og vandlopper.

»Eksperimenterne blev foretaget i to beholdere med havvand adskilt



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Planktonforsøgene

Forskernes forsøg omtalt i artiklen foregik på Arktisk station i Qeqertarsuaq, Grønland. I forsøgenes modelsystem indgik arter af diatomeslægten *Pseudo-nitzschia* og vandloppen *Calanus*. Algerne blev indsamlet året inden forsøgene, etableret i rene kulturer og taget med tilbage til Grønland. Vandlopperne blev indsamlet samme år som forsøget, og individer blev indsamlet enkeltvis.

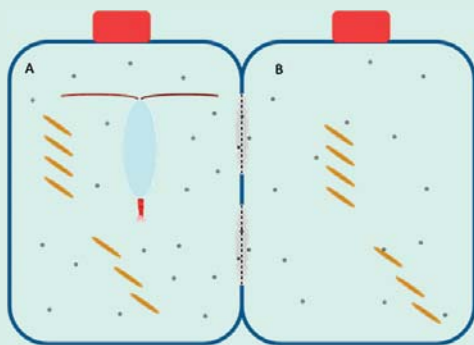
Planteædende vandlopper udskiller til stadighed små mængder af signalstoffer kaldet copepodamider (polære lipider). Kiselalgerne registrerer tilstedeværelsen af vandlopper ved at detektere forekomsten af copepodamider. Algerne reagerer på dette ved at producere giftstoffet do-



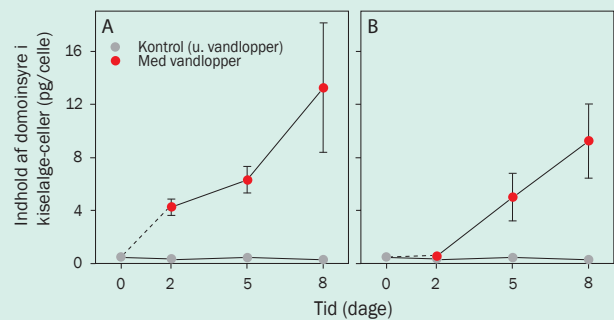
Planktonforsøg i feltlaboratoriet. Foto: Nina Lundholm

moinsyre, der virker som et kemisk forsvar, da det påvirker vandlopperne negativt. Ved at have et model-

system kunne forskerne registrere den rent kemiske interaktion mellem alger og vandlopper.

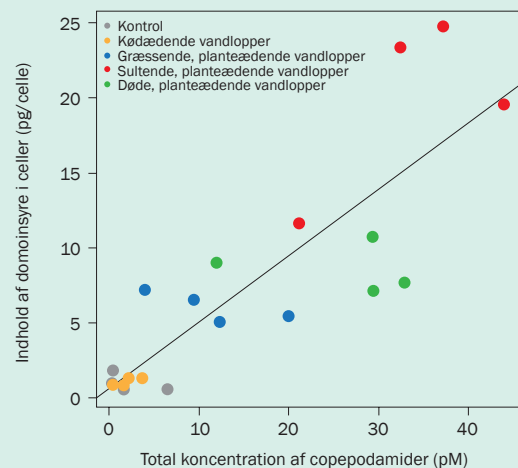


Figuren viser en principskitse af forsøget, som består af to beholdere med havvand adskilt af en membran med en porestørrelse på 5µm. I den ene beholder er der kun kiselalger, i den anden både kiselalger (føde for vandloppen) og vandlopper. Graferne viser, hvordan indholdet af domoinsyre i kiselalge-cellerne ændres over tid, svarende til situationen i de to beholdere. Til venstre (A) ses ændringer i toxinindholdet, når vandlop-



per græsser direkte på kiselalgerne, mens grafen til højre (B) viser alger, der kun er udsat for vandlopperens kemiske signalstoffer (copepodamider). I kontrolerne, hvor algerne ikke udsættes for vandlopper, er toxinindholdet uændret. Det ses også, at toxinindholdet stiger hurtigere i den container, hvor vandlopperne græsser direkte på algerne, da der er en vis forsinkelse på transporten af signalstoffer over membranen.

Figuren viser, hvordan niveauet af domoinsyre i alge-cellerne har en lineær sammenhæng med niveauet af copepodamider. Desuden viser grafen, at kødædende vandlopper ikke udskiller copepodamider (det svarer til niveauet for kontrol) og derfor ikke inducerer et øget toxinindhold i algerne, hvorimod både aktivt græssende, sultende og døde vandlopper udskiller copepodamider (det afhænger altså ikke af, hvorvidt de græsser eller ej) og derfor inducerer øget toxinindhold i algerne.



af en membran, hvor kun opløste stoffer kan passere. I den ene beholder var der både kiselalger og vandlopper, mens der i den anden kun var kiselalger. På den måde kunne vi undersøge effekten af vandlopper på kiselalgerne, både når de blev græsset direkte, og når de kun blev udsat for stoffer, der lækkes fra vandlopperne», forklarer Sara Harðardóttir.

Langvarig effekt på økosystemet

Forsøgene bekræftede, at nogle arter af kiselalgen *Pseudo-nitzschia* reagerer på signalstofferne fra vandlopper ved enten at begynde at producere domoinsyre eller øge produktionen af det – helt op til 130 gange. Andre arter af kiselalger reagerede derimod ikke på signalstofferne ved at producere giftstof, sandsynligvis fordi de har andre forsvarsmekanismer. Nogle deler sig meget hurtigt og påvirkes derfor ikke meget af græsningen, mens andre, som kiselalgen *Skeletonema*, reagerer ved at forkorte længden af de kæder, som celler af kiselalger ofte danner. Når kiselalgerne er i kæder, er de lettere at spise for vandlopper, da de enkelte celler er meget små. Ved at forkorte kæderne mindskes risikoen for at blive spist af vandlopper.

»Vores forsøg viser tydelige tegn på, at produktionen af gift er en forsvarsmekanisme hos algerne. Algerne reagerede nemlig på alle arter af plankton-spisende vandlopper ved at producere gift, mens kødædende vandlopper derimod ikke fremkaldte nogen giftproduktion hos algerne. Algerne reagerer således kun på organismer, der udgør en reel fare for dem,« fortæller Sara. »Grunden til, at algerne ikke producerer domoinsyre hele tiden, er muligvis, at giftproduktionen kræver energi og derved er kostbar at sætte i gang.«

Forskergruppen fandt også, at når algerne øger produktionen af domoinsyre som respons på signalstoffer fra vandlopper, tager det 20-50 dage, før niveauet af domoinsyre i algerne falder tilbage til



Vandlopper er små krebsdyr, der findes både i havet og i ferskvand. De udgør ofte størstedelen af dyreplankton i havet og er derfor vigtige økologisk set. De lever af at spise fytoplankton som kiselalger og er derfor et essentielt led i fødekæden, der transporterer energien fra algerne videre til fisk, fugle og pattedyr. Her ses nyindsamlede vandlopper i en spand. Foto: Claudia Bruhn

Om forskerne



Sara Harðardóttir er ingeniør fra DTU Aqua. Hun færdiggjorde sin ph.d.: *Marine Battlegrounds: Toxic Diatoms and Their Copepod Grazers*, hos Nina Lundholm ved Statens Naturhistoriske Museum i 2017. Hendes forskning fokuserer på fytoplankton i Arktis, specielt den giftige *Pseudo-nitzschia* og de alger, der findes i hav-is. For nuværende er Sara ansat GEUS, hvor hun arbejder videre med havis-alger i sedimenter.



Nina Lundholm er lektor på Sektion for Evolutionary Genomics ved Statens Naturhistoriske Museum. Hun arbejder med økologi samt molekylær og morfologisk evolution og diversitet af fytoplankton. Hun er specielt fokuseret på toksiske alger og deres toksinproduktion. nlundholm@snm.ku.dk Foto: Claudia Bruhn

udgangsniveauet. På den måde kan de "skræmte" alger have en langvarig økologisk effekt på miljøet. Et godt spørgsmål er derfor, hvor ofte algerne bliver bragt i denne alarmtilstand. At dømme ud fra målinger af koncentrationen af copepodamider i miljøet, kan det være ofte.

»Målinger direkte i havet i tempererede egne viser, at koncentrationen af copepodamider i vandet i flere måneder om året er høj nok til, at det kan inducere en 100 % forøgelse af koncentrationen af domoinsyre. Men hvor ofte, det sker i Arktis, ved vi endnu ikke,« siger Sara.

Sundhedsteknikere fra Vandenberg Air Force Base i Californien, USA, indsamler muslinger på Minuteman Beach som en del af den løbende kontrol af, om muslinger indeholder giftstoffer som domoinsyre. Foto: U.S. Air Force photo/Staff Sgt. Andrew Satran.



Kiselalger og skaldyrsforgiftning

Når mennesker bliver syge af at spise skaldyr, skyldes det oftest, at de har akkumuleret giftstoffer fra alger (forurening med bakterier eller vira kan dog også være årsagen). I de fleste tilfælde er det giftige arter af den gruppe af alger, der kaldes dinoflagellater, der er årsagen. Men en særlige form for skaldyrsforgiftning, der kaldes "hukommelsestabsfremkaldende skaldyrsforgiftning" (på engelsk *Amnesic Shellfish Poisoning*, ASP), skyldes giftige arter af kiselalger tilhørende slægten *Pseudo-nitzschia*. Som navnet antyder, er et karakteristisk symptom på sygdommen hukommelsestab. Det skyldes, at domoinsyre binder sig til nerveceller (neuroner) i hjernen og forstyrrer deres calcium-balance, således at neuronerne svulmer op og dør. Forud for hukommelsestab vil forgiftede personer normalt opleve andre symptomer som diarré, hovedpine, åndenød, lammelser og svimmelhed. I alvorlige tilfælde kan pa-

tienten gå i koma indenfor 48 timer efter indtagelse af giften og i værste fald dø.

Udover mennesker kan pattedyr og fugle blive forgiftet af domoinsyre, og ved længere tids indtagelse af lave doser af domoinsyre kan pattedyr få en kronisk forgiftning, der blandt andet kan påvirke deres reproduktion.

I langt det meste af verden monitoreres forekomsten af giftige alger og deres giftstoffer, så mennesker ikke bliver syge. I Danmark oplever vi ind imellem, at blåmuslinger indeholder så høje koncentrationer af domoinsyre, at Fødevarestyrelsen advarer folk mod at indsamle og spise dem – det skete for eksempel i marts 2016.

Der findes endnu ingen modgift mod domoinsyre. Og giften uskadeliggøres heller ikke ved opvarmning.

Forgiftede vandlopper

Hvis algerne produktion af gift er en forsvarsmekanisme, vil man forvente, at en giftig alge virker afskrækkende på en sulten vandloppe. Men umiddelbart lader vandlopperne sig ikke mærke af, at algerne er nok så giftige. »Vi kunne i hvert fald ikke i vores forsøg observere nogen forskel på, hvor mange alger vandlopperne spiste, hvad enten algerne var giftige eller ej. Og der var heller ikke forskel på, hvor

mange æg vandlopperne producerede, eller hvor stor en andel af æggene, der klækkede,« fortæller Nina Lundholm.

Målt på disse parametre kan det således synes forgæves for algerne at forsvare sig med giftstoffer. Men der er alligevel noget, der tyder på, at algerne giftstof har en effekt på vandlopperne.

»I forsøg lavet over længere tid så

vi, at giften faktisk kan slå vandlopperne ihjel,« siger Nina. »Og forsøgene viste også, at forgiftede vandlopper på nogle punkter opførte sig anderledes end deres giftfrie artsfæller. De var mindre tilbøjelige til at lave karakteristiske hop, som vandlopper benytter sig af, når de forsøger at flygte fra fjender. For en vandloppe kan konsekvensen af at spise giftige alger derfor være en øget risiko for selv at blive ædt. Derved opnår algerne samlet set,

at de selv har mindre risiko for at blive spist, altså at deres forsvar virker.«

Når forskerne ikke har kunnet observere andre tydelige effekter på vandlopperne på kort sigt, behøver det dog ikke betyde, at der ikke er sådanne effekter: »Det kan være, at vi bare ikke har kigget på de rigtige fysiologiske karakterer,« siger Nina. »Men det er også en mulighed, at vandlopperne har tilpasset sig giftstoffet. De vandlopper og alger, vi arbejdede med i forsøgene, kom fra den samme lokalitet, og vandlopperne kan derfor have en lang historie, hvor de har været udsat for domoinsyre, og ligesom bakterier bliver resistente overfor antibiotika, er vandlopperne blevet modstandsdygtige overfor giftstof-fet.«

Et kig ind i genomet

En anden måde at undersøge, om domoinsyre påvirker vandlopperne, er ved at se på, om der er forskel på, i hvilken grad forskellige gener bliver udtrykt i henholdsvis forgiftede og ikke-forgiftede vandlopper. I projektet har forskergruppen udført sådanne funktionelle genomstudier, og de viste tydeligt, at vandlopperne er påvirkede af giftstoffet. »Der bliver populært sagt skruet ned for en række gener, som regulerer forskellige processer relateret til stofskiftet og andre processer i cellerne, når vandlopperne udsættes for domoinsyre. Og det antyder, at både vandlopperne aktivitet og vækst er påvirket af giften,« fortæller Nina. »Men vi kan dog ikke mere præcist sige, hvilken fysiologisk betydning, det har, da man endnu ikke kender den specifikke funktion af de fleste gener hos vandlopper.«

Hos kiselalgerne er der også en række gener, der bliver påvirket, når de bliver udsat for vandlopper. Ikke overraskende viser det sig her, at hovedparten af de gener, der ændrer udtryk, bliver mere aktive – formentlig fordi de på forskellig vis har en regulerende funktion i produktionen af

domoinsyre. »Vi kunne til sammenligning se, at en anden ikke-giftig art af kiselalge overhovedet ikke ændrede udtryk af sine gener, når den blev udsat for vandlopper,« siger Nina.

Konsekvenser af mere gift i Arktis

Som nævnt er et væsentligt perspektiv i at forstå denne vekselvirkning mellem kiselalger og vandlopper, at den er udgangspunktet for, at domoinsyre sendes opad i fødekæden.

»Vi kan se, at domoinsyre akkumuleres i vævet på vandlopper, der er på en diæt af giftige kiselalger,« siger Nina. »Og giften forbliver i vandlopperne i op til seks dage, efter de har spist de alger, så der er altså et relativt langt tidsrum, hvor giften kan nå videre til næste led i fødekæden og akkumuleres der.«

Nina og Sara fortæller også, at de mængder domoinsyre, de og forskerkollegerne har målt i vandlopperne i deres forsøg, er 100 gange højere end grænseværdierne fastsat af EU for, hvad mennesker må indtage. Det sætter en tyk streg under den potentielle risiko, som forgiftede vandlopper udgør, når de spises af dyr højere oppe i fødekæden. Man ved for eksempel, at planktonædende hvaler kan indeholde mængder af domoinsyre, som kan gøre dem syge, og som nævnt er der flere steder i verden fundet pattedyr og fugle, der er døde på grund af domoinsyre.

Samspillet mellem giftige kiselalger og vandlopperne er et eksempel på, hvor kompliceret samspillet mellem planteplankton og dyreplankton kan være, hvor organismene påvirker hinanden ved hjælp af kemiske stoffer som copepodamider og domoinsyre. At forstå de grundlæggende vekselvirkninger mellem organismene nederst i fødekæden, det vil sige mellem plante- og dyreplankton, er også vigtigt for at undersøge og forstå effekten af andre faktorer som klimaforandringer, da algerne

udgør basis af fødekæderne i havet.

»Man kan forestille sig, at afsmeltning af is i Arktis kan give anledning til en ændret sammensætning af planteplankton. Man kan også forestille sig flere og større opblomstringer af giftige alger. Forårsopblomstringen står for langt den største del af den marine primærproduktion, og den vil kun blive større i et varmere klima,« siger Nina.

For menneskene i Arktis vil opblomstringer af giftige alger kunne få store konsekvenser – både på grund af den lokale fare for at blive forgiftet, og fordi det kan ramme økonomien hårdt. Således udgøres 80-90% af Grønlands eksport af marine produkter.

På jagt efter mere viden

Nina Lundholm og hendes kolleger planlægger nu at udnytte den viden, de har opnået i projektet, i fremtidige studier.

»Vi vil for eksempel undersøge kombinerede effekter af faktorer, der påvirker algerne vækst og giftproduktion. Og vi vil se mere på omkostningerne for algerne af at benytte sig af en sådan induceret forsvarsmekanisme,« siger Nina. »Vi vil også nærmere undersøge, hvordan domoinsyre transporteres videre i fødekæden, og hvordan det spredes i det arktiske miljø.«

Nina fortæller, at der også er andre små organismer som ciliater og dinoflagellater, der er vigtige græssere i Arktis, og hun vil gerne undersøge, hvilke effekter disse har på de giftige kiselalger.

»Nu har vi fokuseret på, at kiselalgerne kan være giftige, men vi skal ikke glemme, at de er helt centrale spillere i både marine og ferske fødekæder. Og så tæller det også til deres fordel, at de er smukke på grund af deres fantastiske kiselalkalier, der varierer fra art til art. Det gør dem bare endnu mere værd at interessere sig for,« slutter Nina. ■

Videre læsning

Artiklen bygger på projektet: *Grazer-Phytoplankton Interactions in a Co-evolutionary Context in the Arctic Ecosystem*, som var et såkaldt Forskningsprojekt 1, finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

KLIMAET PÅ DAGSORDENEN

I 30 år har FN's internationale klimapanel IPCC været med til at sætte klimaet på den internationale dagsorden. To danske forskere, der deltager centralt i arbejdet med den næste hovedrapport, fortæller her om arbejdet.

Forfatterne



Sebastian H. Mernild, ph.d. og dr. scient., er professor i klimaforandringer og administrerende direktør for klimaforskningscenteret Nansen Centeret, Bergen, Norge. sebastian.mernild@nersc.no



Jens Hesselbjerg Christensen, ph.d., er professor i klimafysik ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. hesselbjerg@nbi.ku.dk

Forfatterne er udpeget af FN's klimapanel IPCC til at være henholdsvis Lead Author og Review Editor på den kommende FN hovedklimarapport, AR6, under arbejdsgruppe 1.

FN's klimapanel IPCC kan her i 2018 fejre sin 30 års fødselsdag. IPCC gennemfører ikke selvstændige forskningsstudier, men har til opgave at indsamle, gennemlæse og sammenstille al relevant videnskabelig litteratur om, hvad vi ved om Jordens klima, effekterne af klimaforandringer og om mekanismer til modvirkning af og tilpasning til klimaændringer. Informationen sammenstykkes i såkaldte hovedrapporter, der udgør et grundlag for rådgivning af verdens beslutningstagere.

Selve skrivearbejdet udføres af anerkendte forskere kloden rundt – indstillet til arbejdet af IPCC's medlemslande og udpeget af IPCC's Bureau, som også er valgt af IPCC's medlemslande.

Arbejdet er nu i gang mod den sjette hovedrapport – kaldet AR6 (Assessment Report no. 6). Arbejdet er organiseret i tre arbejdsgrupper, der har ansvaret for forskellige delrapporter. Vi deltager i arbejdsgruppe 1, der kigger på de naturvidenskabelige fakta. Delrapporten fra vores arbejdsgruppe udkommer som den første i 2021, og den kommer til at handle om de naturvidenskabelige fakta – altså om, hvad vi ved om det fysiske klimasystem. Herefter følger delrapporter fra de

to andre arbejdsgrupper efterfulgt af en synteserapport indenfor et år. Arbejdsgruppe 2 kigger på effekter af og sårbarhed over for klimaforandringer samt hvilke muligheder, der er for at tilpasse sig klimaforandringer, mens arbejdsgruppe 3 ser på, hvordan vi kan modvirke klimaændringer.

Alle de tre delrapporter indeholder et resume for beslutningstagere, og det er typisk det afsnit i IPCC-rapporterne, der tiltrækker sig mest opmærksomhed. Disse afsnit er rettet direkte mod de beslutningstagere, som har stillet IPCC opgaven med at skrive rapporterne og formelt også vil godkende dem under et plenarmøde i IPCC gennem en accept af resumeet linje for linje. Tilsammen udgør resumeerne det videnskabeligt forankrede grundlag for at træffe beslutninger om klimaets fremtid under Paris-aftalen fra 2015.

Regionalt atlas – en nyhed

IPCC's sjette hovedrapport bliver anderledes på en række punkter sammenlignet med de fem forudgående rapporter. Den kommer for eksempel til at indeholde et *Regionalt Atlas*, som skal medvirke til at binde bidragene fra arbejdsgruppe 1 og 2 tættere sammen – altså koble det vi ved om det fysiske klimasystem med viden om effekter af og sårbarhed over for klimafor-

andringer samt hvilke muligheder, der er for at tilpasse sig klimaforandringer.

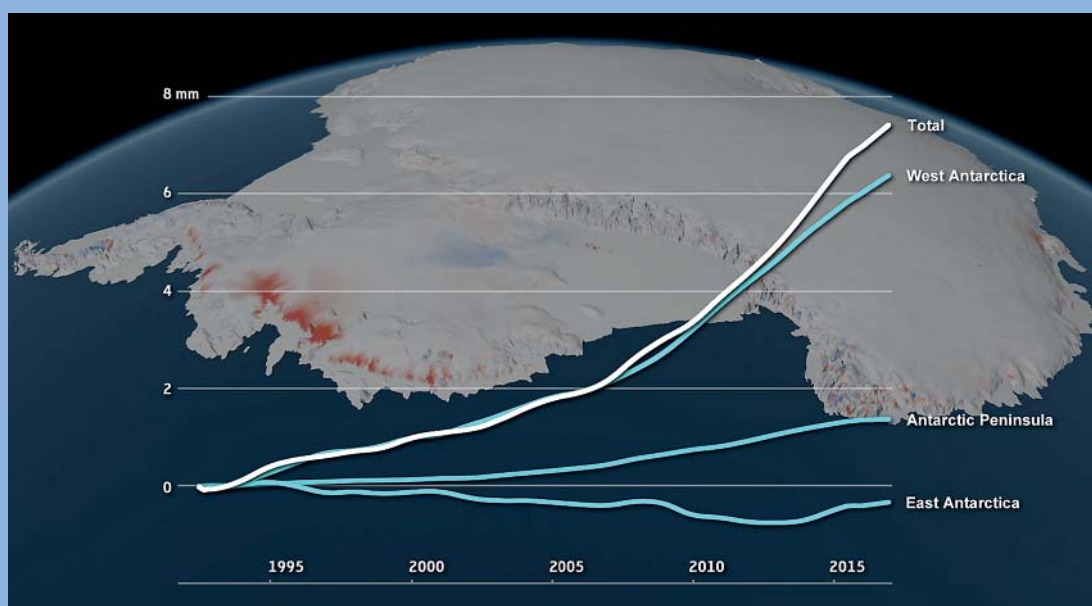
Det regionale atlas skal gå på tværs af tematiske emneområder som havniveauet, atmosfæren, is og sne og i større detalje fokusere på forskellige geografiske områder Jorden rundt. Ideen er, at et regionalt atlas vil medføre, at man nemt og hurtigt kan finde tilgængelige informationer fra alle regioner på kloden, hvor der findes robuste data og studier. Hvorvidt dette atlas skal være i elektronisk form eller i papirudgave er endnu ikke besluttet. Men det skal med sikkerhed forekomme i en form, hvorved alt præsenteret materiale kan behandles i den omfattende reviewproces, som alle IPCC's rapporter skal igennem, før de endeligt godkendes.

Meningsfuldt arbejde

IPCC-arbejdet mod de kommende rapporter er uden tvivl en stor opgave for de forskere, der er inviteret med i arbejdet som hovedforfattere. Men det er et arbejde, vi mener er nødvendigt, værdifuldt og meningsfuldt, da rapporterne danner grundlag for politikernes og beslutningstagernes overvejelser og beslutninger. Med IPCC-rapporterne er klimavidenskaben for alvor blevet sat på den internationale dagsorden. ■



Den ikoniske isbjørn er om noget blevet et symbol på klimaændringer, idet mindre is i Arktis har store konsekvenser for isbjørnene. Foto: Shutterstock



Afsmeltning i Antarktis tager fart

Et godt eksempel på den forskning, som vi forholder os til i arbejdsgruppe 1, er et nyt studie publiceret i tidskriftet *Nature* omkring afsmeltningen af is i Antarktis. I dette studie har en international forskergruppe ledet af University of Leeds, UK, og NASA's Jet Propulsion Laboratory i Californien med deltagelse af forskere fra flere danske institutioner anvendt en række uafhængige metoder til at vurdere afsmeltningen af is. Og resultaterne viser, at afsmeltningen fra Antarktis lige nu er næsten lige så kraftig som afsmeltningen fra indlandsisen i Grønland. Over de seneste 25 år er der forsvundet cirka 2.735 km³ is fra Antarktis – hvilket totalt svarer til, at afsmeltningen har bidraget med en vandstandsstigning i verdenshavene på 7,6 mm. Men det mest iøjnefaldende er, at afsmeltningen er accelereret kraftigt de seneste år. Så-

ledes er der de seneste fem år forsvundet i gennemsnit 218 km³ is (218 milliarder tons) om året, hvilket er næsten tre gange så meget som det årlige istab i perioden 1992 til 2012 (hvor tabet gennemsnitligt var 76 km³ om året). Stigning i istabet fra Antarktis skyldes en kombination af øgede tab fra Vestantarktis og fra den Antarktiske halvø samt en reduceret vækst af isen i Østantarktis.

Disse resultater har naturligt nok vakt stor international opmærksomhed. For hvad der vil ske med Antarktis i fremtiden har enorm betydning for udviklingen i det globale havniveau. Antarktis indeholder et isvolumen svarende til en potentiel global havniveaustigning på 58 meter. Til sammenligning vil en total afsmeltning af Indlandsisen i Grønland svare til en havstigning på 8,1 meter.

Kilder og videre læsning:

The IMBIE Team: Mass balance of the Antarctic ice sheet, 1992-2017. *Nature*, 558, 219-222, doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y.

IPCC's hjemmeside: www.ipcc.ch



HVORDAN HAR DIN HAVVINDMØLLE DET?

Der er mange penge at spare, hvis man til enhver tid meget præcist kan sige, hvor lang levetid dyre konstruktioner som skibe og havvindmøller har tilbage.

Smart brug af sensorer skal hjælpe med at gøre et sådant løbende "sundhedstjek" muligt.

Om forfatteren



Anders Brandt er lektor ved Institut for Teknologi og Innovation, SDU Mechanical Engineering abra@iti.sdu.dk

Omkostninger til at vedligeholde havvindmøller har i dag stor betydning for, hvad det koster at producere en kilowatt-time elektrisk strøm. Nøjagtig ligesom mange dele i for eksempel en flymotor må udskiftes i løbet af flyets levetid er der også en række komponenter, der løbende må udskiftes i en havvindmølle. Men mens vedligehold af et fly kan klares i værksteder i lufthavnen, skal personale fragtes ud til havvindmøllerne for at yde service, og det er dyrt. Samtidig kan det kun lade sig gøre, når vejret er godt.

For at holde udgifterne til vedligehold af havvindmøller så langt nede som muligt, er det således

meget vigtigt, at man kun udskifter dele, når det er strengt nødvendigt. På den anden side kan det lede til en katastrofe, hvis for eksempel et leje i en vindmølle ikke udskiftes, når det er slidt ned. Konsekvensen af et brud i et leje kan nemlig være, at såvel gearkassen som vingerne beskadiges ved det stop, som et ødelagt leje vil forårsage. Det kan lede til både et dyrt driftstop og til dyre reparationer.

At kunne forudse præcist, hvornår en given del skal udskiftes i en konstruktion er derfor en disciplin, der er stor økonomisk interesse i at mestre. Det gælder særligt konstruktioner, hvor omkostningerne til vedligehold udgør en stor del af driftsomkostningerne i den

samlede levetid, for eksempel havvindmøller eller olieplatforme. Og det gælder konstruktioner, hvor et havari kan være meget dyrt eller alvorligt, som for skibe og broer. På fagsproget kaldes dette felt for *structural health monitoring* (SHM), og ved SDU Mechanical Engineering arbejder vi med at udvikle sådanne monitoringsløsninger, der løbende kan give et præcist billede af en konstruktions sundhedstilstand.

Vibrationer og metaltræthed

Hvis man vil optimere udskiftningen af for eksempel et leje i en havvindmølle er det ikke nok at gøre det ud fra generelle betragtninger om et sådant lejes gennemsnitlige levetid. Nej, man

Metaltræthed

Hvis man bøjer et stykke metal (for eksempel en papirklips) frem og tilbage en masse gange, vil der opstå en revne i metallet som gradvist vokser indtil metallet til sidst brækker over i to stykker. Dette fænomen opstår i al metal – ofte også ved meget små bøjninger, men mange af dem. Fænomenet kaldes populært metaltræthed, mens vi forskere kalder det “udmattelse”.

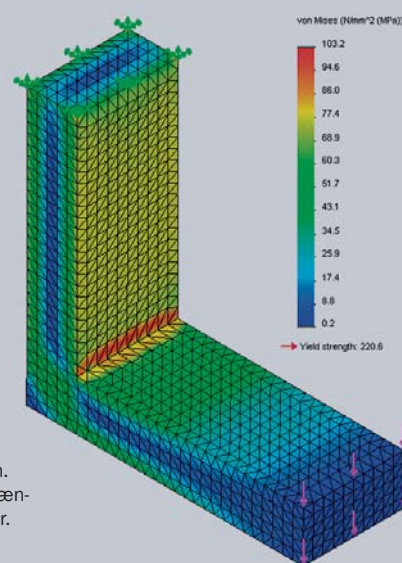
Når vi snakker om *vibrationer* betyder det i praksis “bøjninger frem og tilbage”. Så vibrationer leder til udmattelse. Er der for store vibrationer i for lang tid i en metalkonstruktion, vil der dannes revner, som til sidst, hvis de ikke opdages og repareres (eller komponenten udskiftes), leder til at konstruktionen går i stykker.

Lidt mere nøjagtigt udtrykt opstår udmattelse på grund af store spændinger i konstruktionen. Mekanisk spænding er et udtryk for, hvor meget kraft, der er per tværsnitsareal. I en typisk konstruktion er de største spændinger koncentreret i visse områder, og det er i disse områder, der vil opstå revner på grund af udmattelse. Med moderne computersoftware beregnet til at designe mekaniske konstruktioner, er der med ret stor nøjagtighed muligt at analysere, hvor disse spændingskoncentrationer vil opstå.



Nærbillede af et brud forårsaget af metaltræthed i en fjeder fra en bil. Der ses også flere mindre revner, som også er begyndende træthedsbrud.

Foto: colourbox



Udmattelse opstår på grund af store spændinger i konstruktionen. På denne "vinkel"-figur er store spændinger vist med gule og røde farver.

Kilde: <https://andrewelb.wordpress.com/2010/12/14/stress-singularities/>

må til enhver tid vide, hvordan det specifikke leje “har det”. Lejets tilstand kan overvåges ved hjælp af sensorer, idet der opstår vibrationer i et leje, som vokser i takt med, at lejet bliver mere og mere slidt. Af den grund har man længe monitoreret vibrationer i lejer og andre kritiske dele af vindmøller. Allerede i dag kan man derfor med nogenlunde nøjagtighed forudsige, hvornår lejer og andre komponenter skal udskiftes.

Der er dog tilfælde, hvor de anvendte metoder af ukendte grunde ikke virker, hvilket har ført til nedbrud. Og der er tilfælde, hvor overvågningen melder fejl, selvom lejet har det udmærket – eller i det mindste ikke har akut brug for at

blive skiftet ud. Af den grund er der brug for at udvikle og forbedre de metoder, man i dag bruger til overvågning af kritiske komponenter i mange forskellige konstruktioner.

Udover at vibrationer kan være tegn på, at en specifik komponent i en konstruktion er ved at være slidt, kan vibrationer også mere generelt give anledning til problemer. For når et materiale udsættes for vibrationer over lang tid, kan der opstå revner, og hvis de ikke opdages i tide, kan der opstå deciderede brud. Da Storstrømsbroen i 2013 blev lukket i en periode, var det fordi man havde fundet uventede revner i broen, der var opstået på grund af metaltræthed. Revner i en vindmølle ved Samsø

ledte også i 2015 til, at hele mølle-toppen med vinger faldt i vandet. Selv om så store havarier er meget sjældne, er revnedannelse i havvindmøller noget, som potentielt kan give problemer og som derfor studeres nøje. Men hvornår det er lige ved at gå galt, kan vi i dag ikke forudsige særlig nøjagtigt.

For tiden arbejder vi med at udvikle metoder til at måle den belastning, strukturen påvirkes af til enhver tid. Det betyder, at vi ved at summere disse belastninger ganske nøjagtigt vil kunne få at vide, hvor meget af levetiden af en given konstruktion, der er blevet brugt. Den viden kan lede til, at man i fremtidens konstruktioner vil kunne operere med en mindre

Metaltræthed og levetid

Størrelsen tøjning, som nævnes i artiklen, beskriver den relative forlængelse (deformation) af et materiale. Hvis vi tænker os en stang, som er 1 m lang, og som tøjer sig 1 mm, når vi trækker i den, så er tøjningen 1 mm/m. Forholdet mellem spænding og tøjning kaldes Hooke's lov. Den siger, at hvis S er spændingen, og T tøjningen, så er

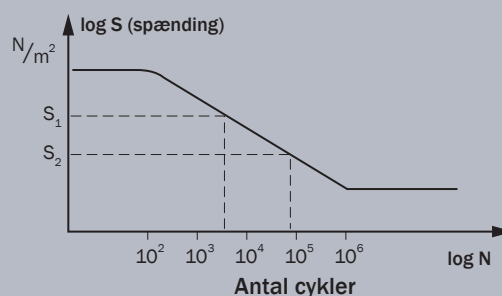
$$S = E T$$

hvor konstanten E kaldes E-modulen, eller Young's modul.

Ved ethvert spændingsniveau kan metallet holde til et vist antal cykler, før der begynder at dannes en revne. Dette bestemmes ved at trække i prøver af metallet med forskellige spændingsniveauer og tælle, hvor mange cykler, der skal til, for at danne en revne ved ethvert spændingsniveau. Dette beskrives i et diagram, som kaldes et S-N diagram, eller Wöhler-diagram efter den tyske jernbaneingeniør August Wöhler, som i 1800-tallet lavede en stor undersøgelse af metaludmattelse.

Men når vi har vibrationer, er spændingen jo ikke hele tiden af den samme størrelse. Derfor bruges en metode

S-N - diagram / Wöhler-diagram



kaldet Palmgren-Miners regel for at opsummere, hvor meget af levetiden, der bliver brugt. Den siger, at hvis vi for eksempel har to forskellige spændingsniveauer s_1 og s_2 , og vi har 1000 cykler ved s_1 og 10.000 ved s_2 , og S-N diagrammet siger, at vi kunne have 2.000 cykler ved s_1 og 100.000 cykler ved s_2 , så har vi totalt brugt

$$\frac{1000}{2000} + \frac{10000}{100000} = \frac{1}{2} + \frac{1}{10} = 50\% + 10\% = 60\%$$

Det vil altså sige, 60 procent af den totale levetid er blevet brugt.

sikkerhedsmargin for udskiftning af komponenter. Og det vil også lede til, at hele konstruktionen kan bygges med et mindre forbrug af materialer. Begge dele vil spare penge.

Svært at forudsige belastning

Når et produkt som en havvindmølle eller en olieplatform konstrueres i dag, går man ud fra, at produktet for eksempel skal kunne holde 25 år og udregner ud fra det, hvilken styrke konstruktionen så skal have. Men problemet er, at man ikke på forhånd kan sige, hvilken belastning konstruktionen bliver udsat for i løbet af de 25 år. Hvor mange orkaner vil en vindmølle for eksempel blive udsat for? De ekstreme vindbelastninger under en orkan forbruger nemlig meget mere af levetiden end mere beskedne vindforhold. I dag prøver man derfor at lave en så nøjagtig statistik over vind- og vejrforhold som muligt og bruge disse data til at beregne,

hvor stærk konstruktionen er nødt til at være. For havvindmøller gælder det, at vejr og bølgeforhold er meget lokale. Så derfor skal man som regel lave dyre målinger på den lokalitet, hvor vindmølleparken skal installeres, i et til to år, før vindmøllerne kan konstrueres.

Statistikker over sjældne hændelser som orkaner er dog ikke nemt at skaffe – hvis man eksempelvis måler over et år, er det ikke særlig sandsynligt, at en kraftig orkan vil finde sted netop det år. Derfor kan man heller ikke bare bruge eksempelvis DMI's statistikker over ekstreme vejrhændelser, da de ikke vil være sikre nok til dette brug. Desuden mangler vi ofte nødvendig statistik over bølger i områder, hvor der aktuelt er placeret havvindmølleparker. Alt i alt betyder det, at man bliver nødt til at bygge vindmøllerne med en forholdsvis stor sikkerhedsmargin, hvis designet skal baseres på dis-

se statistiske data.

Også når det gælder skibe er det besværligt at skaffe sig nok statistiske data til, at man kan optimere konstruktionerne. For skibe er belastningen jo meget afhængig af, hvor skibet sejler. Oceanernes enorme størrelse gør, at det er begrænset, hvor detaljeret statistik man kan få omkring vejr og bølgeforhold. Desuden har kaptajnens måde at fremføre skibet også betydning for, hvor store vibrationer der bliver og dermed for faren for, at der kan opstå revner som følge af metaltræthed.

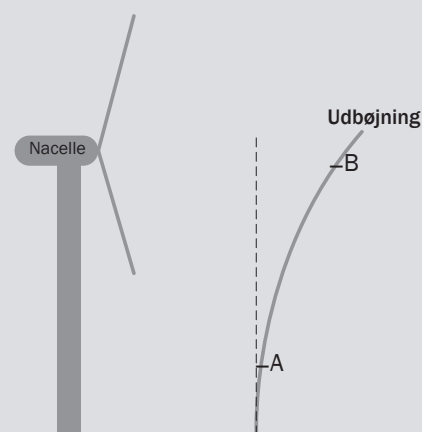
I dag er computerprogrammer til at beregne dimensionering af konstruktioner vidt udbredt både i vindmølle- og skibsdesign. Men disse programmer lider også under den begrænsning, jeg her har skitseret – nemlig at de skal bruge input om lige præcis de forhold, der hersker usikkerhed om: Hvor



Virtuelle sensorer

Virtuelle sensorer er et alment begreb indenfor for aktuel forskning, som betyder, at målinger foretages et eller flere steder, og at man ud fra disse målinger beregner et målesignal i et helt andet punkt. I tilfældet med vibrationsovervågning går vi faktisk yderligere et skridt: Vi beregner således en måleenhed (tøjninger) ud fra målinger af en helt anden måleenhed, nemlig acceleration. Det gør vi af flere grunde, men den vigtigste er, at sensorer til at måle tøjning, såkaldte strain gauges (strækmålere), ikke har så lang holdbarhed. De er også vanskelige at montere, og det er ofte umuligt at montere dem lige der, hvor spændingskoncentrationerne er størst. Til gengæld er accelerometre, der måler acceleration, både pålidelige og enkle at montere, hvorfor vi foretrækker den type sensorer til langtidsovervågning.

Selve teknikken bygger på, at vi ud fra en model af vindmøllen ved, hvordan møllen bøjer sig. Noget forenklet fungerer det således: Der er en direkte sammenhæng mellem bøjningen et sted, for eksempel oppe ved nacellen (vindmøllens "maskinhus"), og bøjningen der, hvor vi har de største spændinger – og vi er interesserede i at beregne tøjningen (deformationen) i dette punkt. Disse punkter er repræsenteret ved punkt A og B på figuren. Tøjning og udbøjning er nært koblete, så tøjningen kan beregnes ud fra udbøjningen. Og til at beregne udbøj-



$$\text{Acc(B)} \rightarrow \text{U(B)} \rightarrow \text{U(A)} \rightarrow \text{T(A)} \rightarrow \text{S(A)}$$

↑ Den gamle Storebæltsbro blev lukket for togtrafik i en længere periode i efteråret 2011 pga. revnedannelser i den gamle metalkonstruktion. Foto: Colourbox

ningen kan vi udnytte målinger af acceleration. For acceleration er ændring af hastighed, som er ændring af position, som i princippet er det samme som udbøjning (til ethvert tidspunkt). Der er derfor en direkte sammenhæng mellem acceleration og udbøjning. Vi går således fra at måle accelerationer til at beregne udbøjning (der hvor accelerometeren sidder) til at beregne udbøjningen der, hvor vi gerne vil kende den. Vi beregner så tøjningen fra denne udbøjning, og til sidst får vi spændingen ud fra Hooke's lov og tøjningen.

Videre læsning:
Lærebog i støj- og vibrationsanalyse:
Anders Brandt: Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures. Wiley 2011.

høje bølger, der er, hvor ofte kraftige storme opstår, mv. Derfor kan resultater fra softwaren heller ikke bruges uden at lægge en sikkerhedsmargin ind og på den måde gøre konstruktionen stærkere – og dermed dyrere – end den behøver at være.

Virtuelle sensorer

I stedet for at forsøge at forudsige belastningen ud fra statistik er den nye tilgang altså kontinuert at måle på belastningen, så man kan følge med i, hvad konstruktionen faktisk har været udsat for, og hvornår den på den baggrund nærmer sig slutningen af sin levetid.

Til det formål bruger vi som nævnt sensorer til at måle vibrationer i konstruktionen. En begrænsning ved monitorering af vibrationer er imidlertid, at en del af de sensorer, man normalt bruger til at måle vibrationer, ikke er særlig pålidelige. Desuden kan det være svært at montere en sensor lige der, hvor man er mest interesseret i at måle. Dette punkt ligger måske under

vandet eller et sted i konstruktionen, hvor der af forskellige grunde ikke kan monteres en sensor. Derfor forsker vi i dag i at bruge sensorer, der sidder i ét punkt, til at måle i et andet punkt. Vi kalder det "virtuelle sensorer". Man kan selvfølgelig ikke uden videre anvende en måling et sted til at fortælle noget om et helt andet sted. Men for netop vibrationer kan det ofte godt lade sig gøre, da vibrationer på en struktur typisk er afhængige af hinanden. Ved at måle vibrationer i nogle få punkter kan det derfor lade sig gøre at beregne, hvad vibrationen er i et helt andet punkt. Man behøver blot at kende strukturens egenskaber, og den information kan nemt skaffes.

Penge i at forlænge levetiden

I dag designer man havvindmøller og andre konstruktioner ud fra det princip, at de skal være tilstrækkeligt stærke til at modstå de højeste belastninger, de kan tænkes at få under hele deres levetid. Med virtuelle sensorer og beregninger af den forbrugte levetid bevæ-

ger vi os nu i en retning, hvor vi ikke behøver overdimensionere sådanne konstruktioner. Hvis man måler, at levetiden er ved at "udløbe" for en havvindmølle, kan man således vælge helt at stoppe møllen eller at forstærke den og forlænge dens levetid. Samtidig vil man også kunne undgå, at man udskifter konstruktionerne, før det er nødvendigt.

Hvis en havvindmølle for eksempel er designet til at kunne holde i 25 år, og vi fordi vi har målt i hele møllens levetid, efter de 25 år med sikkerhed kan sige, at den vil kunne holde yderligere 2 år, vil det reelt betyde, at den elektricitet, der produceres i de to ekstra år, vil være meget billigere end i de første 25 år. Omkostningerne til installation og demontering af møllen er jo allerede betalt af elprisen over de 25 forventede leveår. Dermed er det kun driftsomkostninger, der skal dækkes i al tid derudover. Således er der mange penge på spil, når vi udvikler fremtidens monitoreringsløsninger. ■

OPLÆG OG WORKSHOPS FRA INGENIØRUDDANNELSERNE

Savner du inspiration eller supplement til din undervisning?
Prøv et af de mange oplæg og workshops fra Ingeniøruddannelserne på SDU – enten hos os eller hos jer.

Hør f.eks. vores ingeniørstuderende forklare, hvordan alger kan bruges til spildevandsrensning, dyk ned i øllets kemi og bioteknologi, eller lad dine elever bygge droner eller prøve at udvikle teknologi, som hjælper blinde med at se.

Udvalgte oplæg og workshops om:

- Spildevandsrensning med alger
- Ølbrygningens kemi og bioteknologi
- Sensorer
- Matematik i robotter
- Solceller
- Droner
- Elektricitet
- Arduino

Se Ingeniøruddannelsernes store udvalg af tilbud til gymnasieelever på:
www.sdu.dk/brobygning

Kontakt:
Tlf. 6550 7444 eller brobygning@tek.sdu.dk



BIG DATAS TITANIC?

Influenza-trackingtjenesten Google Flu Trends startede som en succes, men endte som en fiasko. Flu Trends viser de muligheder, der ligger i brugen af big data, men illustrerer samtidig de erkendelsesteoretiske faldgruber og etiske dilemmaer, som brug af store datasæt rummer.

Forfatterne



Mikkel Willum Johansen er lektor ved Sektionen for Videnskabsteori og Videnskabshistorie ved Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet. Hans forskning og undervisning ligger inden for videnskabsteori og etik med særligt fokus på matematikkens videnskabsteori. mwj@ind.ku.dk



Henrik Kragh Sørensen er professor MSO samme sted. Hans forskning ligger inden for matematikkens og datalogiens videnskabs-historie og videnskabs-teori. henrik.kragh@ind.ku.dk

I 2008 lancerede forskere fra Google tjenesten *Flu Trends*, der ud fra folks googlesøgninger søgte at følge de årligt tilbagevendende influenzaepidemiers udbredelse. Influenza er en global dræber, der hvert år koster mellem 250.000 og 500.000 mennesker livet. Viden om, hvornår en epidemi rammer, gør det lettere at sætte ind med forebyggelse og behandling, og derfor vil et system, der effektivt kan følge en epidemi, potentielt kunne redde tusindvis af menneskeliv. Traditionelt har man fulgt influenzaepidemiers udbredelse ved hjælp af data, som de praktiserende læger indberetter. Desværre er der en vis forsinkelse på disse tal, da lægerne først skal indberette, hvor mange influenzatilfælde, der ser, og data herefter skal samles og offentliggøres. Med sine fuldautomatiske analyser af søgedata kunne Flu Trends derimod følge epidemiens udbredelse stort set i realtid, og tjenesten blev udråbt som en stor sejr for brugen af big data. Men i august 2015 lukkede Google Flu Trends efter flere spektakulære fejlforudsigelse, og tjenesten er ikke blevet åbnet igen siden. Så hvad skete der?

Big data og influenza

Før vi rigtig kan forstå, hvordan Flu Trends kunne være så lovende og alligevel gå så galt, skal vi vide lidt om big data. Selve termen "big data" kom på mode i begyndelsen af dette årti. Der findes ikke nogen officiel definition af termen, men typisk forbinder man big data med søgning efter statistiske sammenhænge i store, men "beskidte" og rodede datasæt. Og det var præcis, hvad Google gjorde med Flu Trends: Man havde adgang til et enormt datasæt i form af tid, sted og indhold af alle søgninger, der nogensinde var lavet på Google. Ved at lede efter statistiske sammenhænge – korrelationer – mellem de 50 millioner mest almindelige søgetermer og antallet af influenzapatienter i de forskellige delstater i USA i årene 2003-2008 identificerede forskerne fra Google en række søgninger, der var statistisk korreleret med influenzaepidemiernes udbredelse. På den baggrund fandt de ud af, at de ved hjælp af de 45 søgetermer, der var bedst korreleret med influenza, kunne bygge en model, der passede på de historiske influenzatal. Denne proces kaldes at "træne" algoritmen og består altså i, at man

tilpasser en model til historiske tal i håbet om, at modellen så vil kunne sige noget fornuftigt om fremtiden. Google har aldrig offentliggjort de termer, der indgik i modellen, men det kunne for eksempel være "hovedpine" eller "ledsmerter". Folk har selvfølgelig ikke nødvendigvis influenza, hver gang de søger på disse ord, og nogle af influenzapatienterne med hovedpine kommer måske til at skrive forkert og søger på "hodedpine" i stedet. I den forstand var Googles data beskidte og rodede, men fordi datasættet var stort nok, ville urenhederne forsvinde i mængden. Eller det var i det mindste forskernes håb. Og til at starte med gik det faktisk fint – i vinteren 2008/9 gav Flu Trends imponerende præcise tal for influenzasmitten i USA, og de leverede dem 14 dage hurtigere end sundhedsmyndighederne kunne.

De mange dimensioners forbandelse

Flu Trends illustrerer nogle af de metodologiske udfordringer, man står med, når man bruger big data. Den første udfordring, som forskerne fra Google måtte håndtere, kan kaldes *de mange dimensioners forbandel-*



se. Forskerne ledte efter statistiske sammenhænge mellem de 50 millioner mest almindelige søgninger og hyppigheden af influenza, men når man holder så mange variable (50 millioner) op mod en enkelt anden variabel, er der risiko for, at nogle af de korrelationer, man finder, skyldes rene tilfældigheder. Forestil dig for eksempel, at du nummererer 50 millioner mønter og hver uge i et år slår plat eller krone med dem. Der er nu en god chance for, at nogle af mønterne vil være "heldige" i den forstand, at de for det meste giver plat i uger, hvor antallet af influenzasmittede er i vækst, og krone på uger, hvor antallet af influenzasmittede aftager. Du kan med andre ord observere en korrelation mellem møntens adfærd og influenzasmitte, men det betyder naturligvis ikke, at du vil kunne bruge den heldige mønt til at forudsige antallet af influenzasmittede. Men hvordan kan man vide, om en søgeterm, der er korreleret til antallet af influenzasmittede, er en heldig mønt? Svaret er, at det kan man ikke (om end risikoen bliver mindre, hvis man har nok data). Hvis der er en statistisk sammenhæng mellem for eksempel søgetermen "sort fløj" og influenza er det måske en tilfældighed, og måske en opdagelse af en hidtil ukendt

og overraskende sammenhæng mellem influenza og hang til blødt, mørkt stof. I big datas historie er der eksempler både på heldige mønter og på opdagelsen af genuint nye og overraskende sammenhænge.

Problemet med sammenfaldende fænomener

En anden udfordring, der møder big data-analyse, er, at det fænomen, man er interesseret i, nogle gange kan falde sammen med andre fænomener; man kunne kalde det *problemet om sammenfaldende fænomener*. Influenza falder eksempelvis typisk, men ikke altid, sammen med vinter, mørke, kulde osv. Og hvordan kan man så vide, om den statistiske model forudsiger det ene fænomen eller det andet? Forskerne fra Google opdagede for eksempel, at "high school basketball" var i top 100 over søgetermer, der er bedst korreleret til influenza, men det skyldes formentlig et sammenfald mellem influenza- og basketballsæsonen, og de inkluderede ikke termen i deres model. Alligevel blev den første udgave af Flu Trends tilsyneladende ramt af problemet med sammenfaldende fænomener. I det datasæt, Google havde brugt til at træne Flu Trends, faldt influenzasæsonen pænt om vinteren, men i 2009 ram-

te influenzaen usædvanligt tidligt, og Flu Trends undervurderede markant antallet af smittede. Det tydede på, at en del af de søgetermer, der indgik i modellen, var korrelerede med vinter snarere end med influenza. En del af Flu Trends var altså ikke andet end en kompliceret metode til at holde øje med vinterens komme. Google justerede herefter modellen, men efter at have fungeret rimeligt et par år begyndte Flu Trends i 2011 systematisk at overvurdere antallet af smittede, og i 2013 fortalte den, at der var omkring dobbelt så mange influenzasmittede, som der reelt var.

Induktionsproblemet

Den tredje, og beslægtede, udfordring for big data-analyse er det såkaldte *induktionsproblem*, der påpeger, at det er usikkert at generalisere fra en stikprøve, da vi ikke kan vide om resten af verden opfører sig som den lille del, vi har set på. Så vidt vi ved, skyldes Flu Trends' overvurdering af antallet af influenzatilfælde netop induktionsproblemet i den variant, der siger, at fremtiden ikke nødvendigvis vil udforme sig på samme måde som fortiden. I naturvidenskaberne er denne del af induktionsproblemet mest teoretisk – det er forholdsvis tørt om vinteren, men i 2009 ram-

Et eksempel fra Google Flu Trends, der viser "influenza-søgeaktiviteten" i Sydafrika fra ca. 2006 til 2015. Aktiviteten vises som en afvigelse fra det normale (baseline).



ste de grundlæggende naturlove er stabile over tid – men når man beskæftiger sig med menneskelig adfærd, er problemet akut. For mennesker ændrer adfærd; herunder også søgeadfærd på Google. Vi ved ikke præcist hvorfor, men af en eller anden grund – måske på grund af en øget medieomtale af influenza, måske fordi Google ændrede sin søgealgoritme – begyndte folk at søge mere på de termer, Flu Trends associerede med influenzasmitte. Og det fik modellen til at tage fejl.

Big data og den videnskabelige metode

I en berømt og berygtet artikel fra 2008 luftede chefredaktøren af magasinet *Wired*, Chris Anderson, en vision om, at vi med big data helt ville slippe af med teori i videnskaben. I stedet for at lede efter årsager og forklaringer, sådan som videnskaben havde forsøgt i hvert fald siden Den videnskabelige Revolution i 1600-tallet, skulle ny videnskabelig viden produceres ved at lede efter statistiske sammenhænge i store datasæt:

»Dette er en verden, hvor store mængder data og anvendt matematik vil afskaffe et hvert andet redskab i værktøjskassen. Ud

med enhver teori om menneskelig adfærd, fra lingvistik til sociologi. Glem alt om taksonomi, ontologi og psykologi. Hvem ved, hvorfor folk handler, som de gør? Pointen er, at de gør det, og vi kan følge og måle deres handlinger med hidtil ukendt præcision. Hvis vi bare har nok data, vil tallene tale for sig selv.«

Fra et videnskabsteoretisk og -historisk synspunkt rummer Andersons vision et ekko af den såkaldte positivisme, der dominerede videnskabsteorien i den første halvdel af 1900-tallet. Den grundlæggende idé i positivismen var, at videnskaben er en *induktiv* proces, hvor man gennem fordomsfrie og objektive analyser skulle søge lovmæssigheder i data og bagefter bekræfte hypoteserne eksperimentelt. Det kommer meget tæt på Andersons forestilling om, at tallene kan "tale for sig selv".

Selv om den grundlæggende idé bag positivismen kan have en intuitiv appel, blev positionen forladt i den anden halvdel af 1900-tallet, da videnskabsteoretikere som Karl R. Popper og Thomas S. Kuhn påviste en række fundamentale problemer i positivismens videnskabssyn. Specielt påpegede de, at observationer aldrig kan være teoriløse, og

at positivismens induktive metode både er forbundet med usikkerhed og er en dårlig motor for videnskabelige fremskridt. Som vi så det, er big data stadig udfordret af positivismens problemer. Flu Trends blev hårdt ramt af induktionsproblemet, og forskerne fra Google gik ikke helt teoriløst til sagen. Hele ideen med Flu Trends byggede på en teori om, at folks søgeadfærd afspejler deres sundhedstilstand. Forskerne var godt klar over, at en søgning på for eksempel basketball formentlig kun havde en overfladisk sammenhæng med influenza, og desuden rummede modelleringsprocessen en række teoridrevne og pragmatiske valg, som spændte lige fra definitionen af influenzapatienter til valget af statistiske metoder. Flu Trends' udfordringer illustrerer, hvor sårbare rene statistiske metoder kan være. Store datasæt er ikke i sig selv et mirakelmiddel, der kan løse alle videnskabsteoretiske problemer og gøre videnskabelig opdagelse til en simpel og objektiv proces – hvilket de fleste brugere af big data heldigvis er klar over.

Når big data går godt

Flu Trends var måske nok en fiasko, men det betyder på ingen at den fagre nye verden, data-dreven

videnskab lover, er et fatamorgana. Big data har også haft store sejre og er på mange måder en frugtbar tilføjelse til den videnskabelige værktøjskasse. Big data-analyse er for eksempel blevet brugt med stor succes indenfor områder som medicinsk diagnostik, markedsføring og risikovurdering. Cancerdiagnostik, filmanbefalinger på Netflix og sikkerhedsfirmaers detektion af usædvanlig adfærd på virksomheders netværk benytter alle big data-analyse. Det mest kendte eksempel er dog formentlig Google Translate. Da man i 1950'erne først fik den ide at bruge computere til at oversætte tekst, troede man, at opgaven kunne løses, hvis man bare fodrede computeren med en ordbog og et sæt grammatiske regler. Men det viste sig overraskende nok, at den tilgang hurtigt kom til kort. Det store gennembrud kom først, da forskere fra IBI fandt på at bruge referater fra det Canadiske parlament som en big data-resurse. Canada har både engelsk og fransk som officielle sprog, og derfor fandtes referaterne på begge sprog. Med en ren statistisk analyse kunne forskerne bygge en model for, hvordan et givet engelsk ord hyppigst bliver oversat til fransk og omvendt. Google overtog ideen, men skruede kraftigt op for datamængden ved at inddrage alt det oversatte materiale, de overhovedet kunne finde – uanset kvalitet – lige fra brugsanvisninger til referater fra EU-parlamentet. Som brugere af Google Translate ved, er tjenestens oversættelser langt fra perfekte, men de er dog for det meste nogenlunde brugbare. Tjenesten giver dermed en god fornemmelse af, hvad man kan opnå med en ren statistisk analyse af beskide og usikre data, når bare man har nok af dem.

Big data og privatlivet

Big data har også haft andre og mindre gloriose succeser. Ved at lave en big data-analyse af kundernes købmønstre lykkedes det for eksempel i 2002 for den amerikanske supermarkedsgigant Target at lave en model, der kunne afgøre om en kunde var gravid. Tilsvarende var

kernen i den såkaldte Cambridge Analytica-skandale, der rullede i det tidlige forår 2018, en big data-model, der kunne bestemme folks personlighedstype på baggrund af deres adfærd på Facebook. Ingen af de to modeller havde til formål at skabe viden, man ikke kunne opnå sikrere med andre metoder – hvis en kvinde vil vide, om hun er gravid, gør hun klogt i at købe en graviditetstest frem for at køre sine gamle supermarkedsboner gennem Targets model. De to modeller havde derimod til formål at udlede private og følsomme oplysninger fra oplysninger, vi er mere villige til at give fra os, og det rejser nogle åbenlyse etiske spørgsmål. Man kan argumentere for, at vi har en grundlæggende ret til selv at bestemme, hvem vi deler hvilke oplysninger om os selv med. Hvis det er tilfældet, kræver big data-analyser af Target-typen vores autonomi, idet de kortsletter processen, hvor vi beslutter, hvem vi deler hvad med; at give et supermarked lov til at se, hvad man putter i indkøbskurven, er ikke det samme som at give det lov til at finde ud af, om man er gravid. Og hvor mange ville egentlig åbne en Facebookkonto, hvis man som en del af tilmeldingsproceduren skulle udfylde en personlighedstest?

Big data-etik

Udover spørgsmålet om autonomi og privatliv har navnlig spørgsmål om profilering og algoritmisk bias vakt etisk bekymring i forhold til brugen af big data. Profilering består groft sagt i, at man bliver sat i bås med en gruppe af andre mennesker udelukkende ud fra overfladiske kendetegn. Hele big datas grundlæggende metode, hvor man netop fokuserer på overfladedata frem for underlæggende årsager og motiver, lægger op til profilering. Som et eksempel undersøgte tre amerikanske økonomer i 2016 sammenhængen mellem de begrundelser, folk gav, når de søgte om et lån, og hvorvidt de faktisk betalte lånet tilbage. Det viste sig, at der var markant lavere sandsynlighed for at lånerne i undersøgelsen betalte deres lån, hvis de havde

brugt ord som “gud”, “jeg lover” og “hospital” i deres ansøgning. Det er klart, at viden af den slags er interessant for banker, men hvis din bank afviser din låneansøgning udelukkende ud fra en statistisk analyse af dit sprog, er du blevet profileret. Og det kan være etisk problematisk, at man som individ bliver bedømt ud fra en adfærd, som en gruppe, man mere eller mindre tilfældigt tilhører, har.

Algoritmisk bias er et nært forbundet fænomen. Som vi så ovenfor havde Flu Trends svært ved at skelne influenza- og vintersæsonen, fordi de to fænomener forekom samtidigt i det oprindelige træningssæt. Det var et ret uskyldigt eksempel, men hvad nu hvis de to fænomener, der var blevet sammenblandet, var noget mere følsomt som etnicitet og kriminalitet? I navnlig det amerikanske retssystem støtter man sig i stigende grad til statistisk trænet algoritmer, når man skal afgøre, hvorvidt fanger skal prøveløslades. Fangerne skal udfylde et spørgeskema, og på baggrund af, hvordan det er gået fanger, der tidligere har udfyldt samme skema, kan man udregne en score for, hvor sandsynligt det er, at en person vil begå ny kriminalitet. Metoden er imidlertid blevet beskyldt for konsekvent at give sorte en højere kriminalitets-score end folk af andre hudfarver. Man må ikke dømme folk alene ud fra deres hudfarve – det er racisme – men noget tyder altså på, at algoritmen i dette tilfælde til dels har lært at gætte, om folk er sorte eller ej, præcis som Flu Trends til dels havde lært at gætte på, om vinteren nærmede sig.

Vi risikerer naturligvis altid at blive mødt af fordomme, men når fordommene bygges ind i modeller, der fremstår som neutrale og objektive, kan de være sværere at adressere. Når man bruger big data er der derfor ikke bare gode metodologiske grunde til at være opmærksom på sammenblandingen mellem overfladisk relaterede fænomener. Der kan også være gode etiske grunde til det. ■

Cases til videnskabsteori

I en serie af artikler vil undervisere i Fagets Videnskabsteori præsentere læserne for videnskabsteoretiske aspekter af alle de naturvidenskabelige gymnasiefag. Vi tager udgangspunkt i cases, som vi på Institut for Naturfagernes Didaktik bruger i vores undervisning i videnskabsteori på bacheloruddannelser ved SCIENCE på Københavns Universitet.

VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE

Få mere at vide om de naturvidenskabelige uddannelser på Københavns Universitet. Så er der større chance for, at du vælger en uddannelse, som matcher dine ønsker. Du kan blandt andet:

- Gå i studiepraktik
- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Få hjælp til dit studieretningsprojekt
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser og dine mange muligheder på

science.ku.dk/ba



Læs på SCIENCE



@scienceku



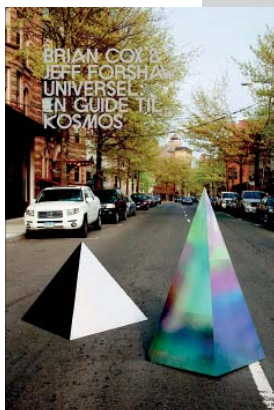
KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET

BØGER

FAKTA

Brian Cox og Jeff Forshaw. *Universel*

– en guide til kosmos. Oversat til dansk af Thomas Thaulov Raab. Gyldendal 2018. 300 sider, 349,95 kr.



Universel – en guide til kosmos

I bogen *Universel* tager Brian Cox, der er en af Englands mest populære videnskabsformidlere, fat på de helt store spørgsmål om Jorden, Solen, vores solsystem og de stjernefyldte galakser ude i det uendelige. Hvor stort er vore solsystem? Hvor hurtigt udvider rummet sig? Hvor stort er hele universet? Og hvad er det egentlig lavet af? Flere af spørgsmålene er faktisk nemme nok at svare på, andre kræver mere teoretiske spring. Med hjælp fra professor Jeff Forshaw forsøger Brian Cox at gøre det så tilgængeligt som muligt.

FAKTA

Jens Morten Hansen: *Læsø – øen med*

vokseværk. Udgivet med støtte fra Læsø Museum og GEUS; 96 sider. 245,- kr. Salg: Jens Morten Hansen: jmh@geus.dk



Læsø – øen med vokseværk

Flot illustreret bog om Læsøs forhistorie, opståen, kystdannelse, landskaber, vegetation og saltforekomster – alt sammen set gennem Jens Morten Hansens naturvidenskabelige briller. Han er selv opvokset på Læsø og er nok den person, der ved mest om øens geologi samt natur- og kulturhistorie. Det er samtidig Jens Mortens håb, at bogen kan være en optakt til en forhåbentlig kommende Geopark Læsø, hvor folk kan opleve den dynamiske natur i praksis.

FAKTA

Mickaël Launay:

Den store fortælling om matematikken. Oversat til dansk af Ole Lindegård Henriksen. FADL's forlag 2018. 400 sider, 299,95 kr.



Den store fortælling om matematikken

Kunstnere, opfindere, håndværkere, drømmere og tænkere har gennem historien beskæftiget sig med matematik, ofte uden overhovedet at vide, at de gjorde det. De er ufrivillige matematikere, der har stillet de store spørgsmål og foretaget den første udforskning af tal, strukturer og regelsmæssigheder, fordi dagligdagens udfordringer krævede det.

Hvis man vil forstå matematikken på en anerledes måde, kan man passende gå i deres fodspor, og det gør Mickaël Launay i *Den store fortælling om matematikken*. Gennem forunderlige historier og anekdoter bliver komplekse matematiske begreber mere håndgribelige for selv den mest uforstående matematiknovice.

FAKTA

Jesper Theilgaard: *Varsler og myter om vejret*. Gyldendal 2018. 140 sider, 149,95 kr.



Varsler og myter om vejret

Trods store forandringer i klimaet kan det stadig give mening at kigge nærmere på de gamle varsler og myter om vejret. Netop det gør meteorolog Jesper Theilgaard i denne bog. Med humor og faglig indsigt løfter han sløret for de meteorologiske sandheder, eller mangel på samme, der gemmer sig i hver af forudsigelserne.

Bogen er en ny, revideret udgave af Jesper Theilgaards *50 vejrvarsler der [måske] virker*. Der er i denne udgave tilføjet et afsnit om talemåder om vind og vejr. Og så er bogen spækket med nye flotte vejrfotos fra den danske og nordiske natur.

MAKE IT REAL

Mathias arbejder med terahertz-spektroskopi, der i fremtiden kan forbedre sikkerhedskontrollen i lufthavne og advare soldater om vejsidebomber.

MATHIAS HEDEGAARD KRISTENSEN, KANDIDAT I FYSIK

Med afsæt i gruppearbejde og problembaserede projekter med autentiske udfordringer bliver du undervist lige der, hvor teori og praksis mødes og er med til at flytte, forandre og forandre. Både dig og verden. AAU bringer dig derfor tættere på den virkelige verden. Og på et attraktivt job.

FÅ MERE AT VIDE OM MATHIAS' UDDANNELSE PÅ [SCIENCE.AAU.DK](https://science.aau.dk)



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

Simpel teori for simple væsker

Normalt afhænger et stofs egenskaber af to parametre: tryk og temperatur. Derfor kan et materiale i ligevægt beskrives i et såkaldt fasediagram med to dimensioner, nemlig tryk og temperatur. Ifølge den såkaldte isomorfteori, der er udviklet af professor Jeppe Dyre og hans forskningsgruppe på RUC, findes der imidlertid simple væsker, hvor bevægelserne og en række andre egenskaber kun afhænger af én parameter, som er en kombination af tryk og temperatur.

At teste denne forudsigtelse kræver dog, at man kan udføre målinger af molekylernes bevægelser i væsker, der spænder over et helt enormt interval af tidsskalaer ved forskellig tryk og temperatur. Men det er for nylig lykket for forskere ved RUC ved at kombinere to forskellige teknikker. Professor Kristine Niss, ph.d.-studerende Henriette Wase Hansen og postdoc Alejandro Sanz har sammen med kolleger fra Polen og Frankrig målt de helt langsomme bevægelser ved



Med denne opstilling kan forskerne måle den langsomme dynamik med dielektrisk spektroskopi samtidigt med, at de måler hurtig dynamik med neutron-spektroskopi og har mulighed for at ændre tryk og temperatur.

hundrede af sekunder med en teknik kaldet dielektrisk spektroskopi, samtidig med at de har målt de hurtige bevægelser med neutronspredning, der kan måle de hurtige vibrationer, der foregår på en millionmilliontedel af et sekund.

Tilsammen kunne forskerne med disse to teknikker måle bevægelser adskilt med hele 14 størrelsesordener i tid. Det svarer til forskellen på 1 sekund og en million år. Resultaterne viser, at for nogle væsker, er molekylernes bevægelse den samme på helt forskellige tidsskalaer og ved forskellig tryk og temperatur, i overensstemmelse med isomorfteorien.

Det betyder, at beskrivelsen af disse væsker bliver meget simplere, idet deres fasediagram dermed reduceres til et, hvor egenskaberne kun afhænger af en enkelt dimension i stedet for normalt to. Sådanne væsker omfatter materialer, der er teknologisk interessante, såsom metalliske glasser.

En logisk følge af resultaterne er, at disse væskers dynamik på vidt forskellige tidsskalaer er styret af de samme underliggende mekanismer.

CRK, Kilde: *Nature Communications* vol. 9, Article number: 518 (2018)

Science på RUC

Naturvidenskab i virkeligheden

Interesserer du dig for Matematisk Modellering?

Nye uddannelser på Roskilde Universitet:

- **Mathematical Computer Modelling**
- **Mathematical Physical Modelling**

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du også undervisningsmaterialer.

Forløb om Mars

Forløbet tager udgangspunkt i en række artikler fra Aktuel Naturvidenskab gennem tiden, der handler om forskellige aspekter af forskningen i planeten Mars. I det omfang, der kommer nye artikler omhandler Mars, vil disse let kunne integreres i forløbet. Målgruppen for undervisningsforløbet er elever, der har et naturvidenskabeligt grundforløb, hvor fysik indgår i samarbejde med biologi og naturgeografi. Forløbet er tænkt i to overordnede dele: rejsen til Mars og ophold på Mars. Og undervisningsmaterialet består af tre tematiske sektioner: *Baner i solsystemet*, *Mars på overfladen* og *Is vand og damp*. Derudover er der en sektion med opgaver.

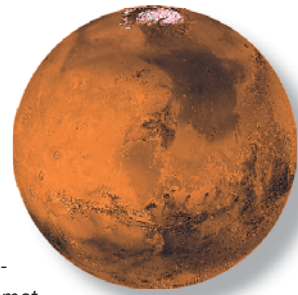


Foto: NASA/JPL/USGS

De enkelte sektioner er en blanding af oplysende tekst, opgaver og eksperimenter. De er i første omgang tænkt som inspiration til læreren. Altså tænkt som et sted at starte. Materialet er udarbejdet af Michael Lund Christensen og Dennis Nielsen, Favrskov Gymnasium.

Som en del af materialet findes også særskilte spørgsmål og en krydsord til artiklen *Gode chancer for liv på Mars* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2009. Denne del er udarbejdet af Inger Kliit, Favrskov Gymnasium.

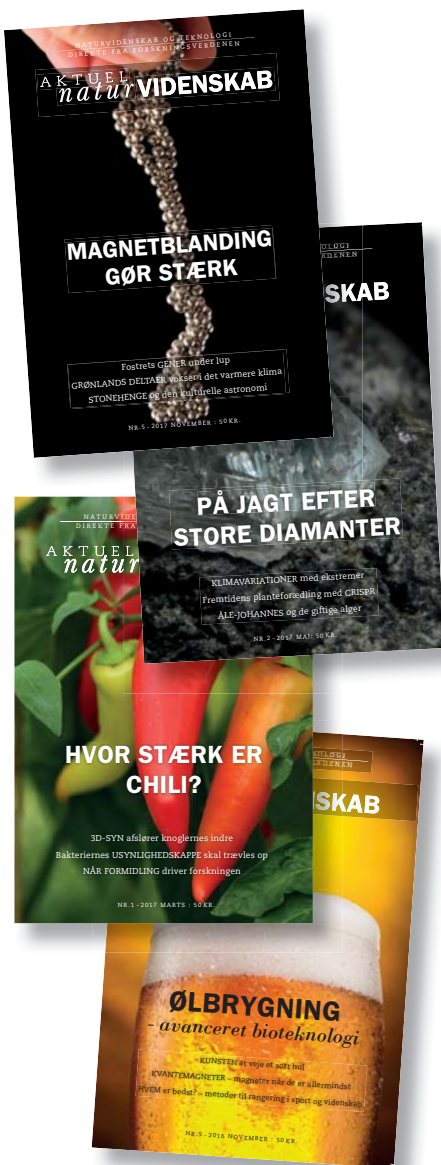
På jagt efter store diamanter

Du kan nu også på hjemmesiden finde et arbejdsark til artiklen *På jagt efter store diamanter* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 2/2017. Artiklen handler om en ny metode til at finde store diamanter ved hjælp af en elektronaccelerator og en PET-scanner. Artiklen med tilhørende arbejdsark kan for eksempel indgå i et forløb om hospitalsfysik som eksempel på en anderledes anvendelse af en PET-scanner. Et andet udgangspunkt kunne være et forløb omkring partikelacceleratorer.

Så er det quiz-tid!

Test din viden i Aktuel Naturvidenskabs quizzer, der bygger på artikler fra bladet. Prøv for eksempel de nye quizzer om gulerødder og kræft, bevaringsgenomik og mikroplastik i havet.

Materiale og quiz-app er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet finansieret af VILLUM FONDEN.



ABONNEMENTS-SERVICE

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

Kontakt os på telefon: 87 15 20 94
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.
Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Gaveide:

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**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Mads Bendix Fjendsbo**, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg 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: 7.400

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Peter Arnborg Videsen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

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

Omslagsfoto:

Blæksprutte.

Foto: Jonas Drotner Mouritsen.



Al henvendelse til:
Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 126, 8000 Aarhus C
E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
T: 87152094

VR til kamp mod druk

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

De to forskere Christiane Stock og Gunver Majgaard har planer om at filme en fest med et 360 graders kamera. Men det er ikke for at kunne dele filmen på sociale medier bagefter og imponere venner og familie med, hvor sjovt de har haft det. Nej, baggrunden er i virkeligheden en kedelig dansk europarekord, nemlig unge menneskers druk. De fleste forældre har nok den erfaring, at moraliserende tale om alkohol preller af som vand på en gås på de unge mennesker. Så spørgsmålet er, hvilke redskaber man ellers har i værktøjskassen, der kan hjælpe med at begrænse alkoholindtaget til et mere acceptabelt niveau.



Kan virtual reality hjælpe med at begrænse unge menneskers druk?
Foto: Colourbox

Og her kommer forskernes 360-graders film ind i billedet. Den skal nemlig udgøre baggrunden for en virtual reality-oplevelse, der kan klæde unge mennesker bedre på til at imødegå de mekanismer, der får dem til at drikke mere, end de egentlig selv ønsker.

»En af de mest almindelige årsager til, at unge begynder med at drikke og fortsætter med det, er i virkeligheden gruppepres,« fortæller lektor Christiane Stock fra Forskningsenheden for Sundhedsfremme ved Syddansk Universitet. »Hvis vi skal hjælpe unge mennesker med skære ned på alkoholforbruget, handler det altså meget om at give dem konkrete redskaber til at kunne modstå det sociale pres for at drikke alkohol.«

Til virtuel fest

Sammen med lektor Gunver Majgaard fra SDU Embodied Systems for Robotics and Learning har hun modtaget 2,1 millioner kr. fra TrygFonden til at lave en virtual reality-simulation til mobiltelefonen. De to forskere mener, at virtual reality et helt unikt læringsværktøj til at give unge en indsigt i, hvorfor det er svært at sige nej til alkohol. En

refleksion, som de ikke gør sig, når de først er blevet fulde eller ligger med tømmermænd dagen derpå.

»Virtual reality giver en intens oplevelse af at være til stede. Så vi kan give de unge et unikt værktøj til at udforske de sociale mekanismer omkring fest og druk, så de er klædt på til den næste virkelige fest,« forklarer Gunver Majgaard.

Konceptet er altså, at de unge kan komme med til den virtuelle fest ved at tage et par VR-briller eller billige Cardboards på. Nøjagtig som til en almindelig fest vil man blive stillet over for en række valg, der handler om alkohol – skal man tage imod endnu en drink? Man vælger via sin mobiltelefon, og som genstandene ryger indenbords, kan man følge med i den aktuelle promille – og der kan laves realistiske scenarier for, hvilke konsekvenser den stigende promille får, som festen skrider frem.

»Formålet er at give de unge nogle helt konkrete ideer til at fravælge den næste drink med en god begrundelse – for eksempel ved

at gå ud at danse, gå på toilettet eller skifte musik,« siger Christiane.

Inspiration fra Australien

Målgruppen er unge mellem 15 og 17, da de har vist sig at være særligt udsat for gruppepres. Og det er ikke taget ud af den blå luft, at man kan ramme målgruppen med VR-lærings-systemer. »Vores projekt bygger på erfaringer fra Australien, hvor man har haft succes med et lignende læringsprogram kaldet *Blurred Minds*,« siger Gunver. »Men for at det kan virke i Danmark, skal filmen selvfølgelig give en realistisk, dansk ungdomsoplevelse.«

Derfor har Christiane og Gunver allieret sig med elever fra filmlinjen på Askov Højskole, som skal være medforfattere på manuskriptet, og de vil i hele taget søge råd hos målgruppen i processen. »Filmen skal optages i løbet af efteråret, og vi regner med at have en testversion klar om et års tid,« fortæller Gunver. Derefter skal filmen prøves af, og dens effekt på målgruppen vurderes, inden en fiks og færdig version kan lanceres og forhåbentlig udmøntes i lidt lavere promiller ved fremtidens ungdomsfester. ■