

Aktuel NATURVIDENSKAB

6 | DECEMBER | 2015

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

Se ind i maden

Fra amerikanske orkaner til danske stormskader

Slangens hemmeligheder

Når kroppen reparerer DNA

Giv plads til negative resultater

Den videnskabelige litteratur afspejler ikke nødvendigvis den forskning, der faktisk udføres. For "negative" resultater bliver i stort omfang frasorteret, hvilket koster tid, penge og i værste fald menneskeliv.

Forfatterne



Thea Marie Drachen,
forskningsbibliotekar,
thmd@bib.sdu.dk



Bertil Dorch,
bibliotekschef
bfd@bib.sdu.dk

Begge ved
Syddansk Universitetsbibliotek,
Syddansk Universitet

Forslag til yderligere læsning:
Se aktuelnaturvidenskab.dk/
nyeste-numre/6-2015/

Det er efterhånden et velkendt problem, at der i forskningsverdenen er en tendens til, at der publiceres langt flere positive end negative resultater. Et positivt resultat kan være, at man bekræfter en sammenhæng mellem x og y, fx rygning og lungecancer. Negative resultater er, hvis man ikke kan afvise det, man kalder nul-hypotesen – dvs. at man ikke kan afvise, at den forskel eller sammenhæng, man finder, blot skyldes tilfældigheder.

Men hvilke konsekvenser har det, når det kun er en del af den virkelighed, forskerne finder frem til, der i sidste ende bliver præsenteret?

Vi spilder tid og penge, når forskere gentager forsøg, fordi der ikke er tilgængelig information om, at andre forskere fx allerede har testet et potentielt lægemiddel og fundet, at stoffet ingen effekt havde, eller værre: At det havde en uønsket effekt. Den slags unødvendige gentagelser af forsøg koster tid, penge, forsøgsdyrs liv og har beviseligt også kostet menneskeliv.

På en mere indirekte måde påvirker den manglende information resultatet af såkaldte meta-analyser, hvor forskere opsamler og gen-analyserer resultater fra flere tidligere sammenlignelige forsøg. Meta-analyser giver et bedre data-grundlag, giver mere robuste resultater og er en uvurderlig metode til at finde sekundære effekter ved fx medicin, som ikke er opdaget før. Men når dele af data-grundlaget ikke kan inkluderes, fordi negative resultater i vidt omfang mangler i den videnskabelige litteratur, bliver resultaterne fra meta-analyserne skæve i forhold til virkeligheden.

Jagten på opmærksomhed

Men hvorfor er der opstået denne skævvridning af forskningslitteraturen? Lad os se på incitamenterne. Forfattere og forlæggere har en fælles interesse i, at artiklen og tidsskriftet får så mange citationer som overhovedet muligt, da citationer populært sagt er videnskabens valuta. For at tiltrække citationer skal artiklen gerne vække opsigt hos andre forskere, så de lægger mærke til den. Og så vil man også meget gerne fange interessen hos fonde, der bevilger penge til forskningen, og hos journalister, der skal "oversætte" forskningen til offentligheden. I det spil har artikler med positive resultater tilsyneladende så store fordele

fremfor artikler med negative resultater, at tendensen går i retning af, at artikler med negative resultater indenfor mange discipliner mere eller mindre er på vej ud af den videnskabelige litteratur.

Det er selvfølgelig meget forståeligt, at der er meget større interesse for en artikel med titlen "Der er evidens for liv på Mars" end for en artikel med titlen "Liv på Mars kan stadig ikke bekræftes". Men i en videnskabelig sammenhæng er det et problem, hvis incitamentsstrukturen er sådan, at det udelukkende er undersøgelser, der kan blive til positive overskrifter, der har en chance for at blive publiceret.

Misforhold og løsninger

Misforholdet mellem positive og negative resultater er desværre ikke den eneste skævvridning, man finder i den videnskabelige litteratur. Fx finder man også, at videnskabelige tidsskrifter favoriserer bestemte typer af studier fremfor andre, og så kan skævvridningen også være relateret til selve forsøgsopsætningen, når der fx rapporteres resultater fra en masse forsøgsdyr af hankøn, men ingen af hunkøn. Det sidste er fx en dårlig strategi i smerteforskning, hvor det har vist sig, at der mellem mænd og kvinder er forskel på den optimale smertebehandling.

Men hvad er så løsningen på disse problemer med skævvridning?

For det første er det vigtigt, at forskningen er gennemskuelig via "evidens-baseret forskningsrapportering". Hermed menes, at afrapporteringen af forsøg udføres med en sådan detaljegråd, at det vitterligt kan gentages af andre forskere alene på baggrund af informationen nedskrevet i den publicerede artikel. For det andet bør negative resultater såvel som de positive have mulighed for at blive publiceret. Det kan evt. foregå via tidsskrifter dedikeret til studier med negative resultater eller specifikke studie-typer, der ellers er underrepræsenterede i andre tidsskrifter. Sidst men ikke mindst skal incitamentet for forskeren også være på plads i form af evidens-baseret forskningsfunding – dvs. at vi som offentlighed også belønner den forsker, der troldigt rapporterer både positivt og negativt og som også forsker indenfor områder, der får os uindviede til umiddelbart at tænke "so what"? ■



Naturen sætter en grænse **34** – status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø

Bølgerne går igen højt i den offentlige debat om landbrugets udledning af næringsstoffer til miljøet. Stig Markager gør i denne artikel rede for sammenhængene mellem næringsstofftilførsel og miljøtilstand set fra et naturvidenskabeligt perspektiv.

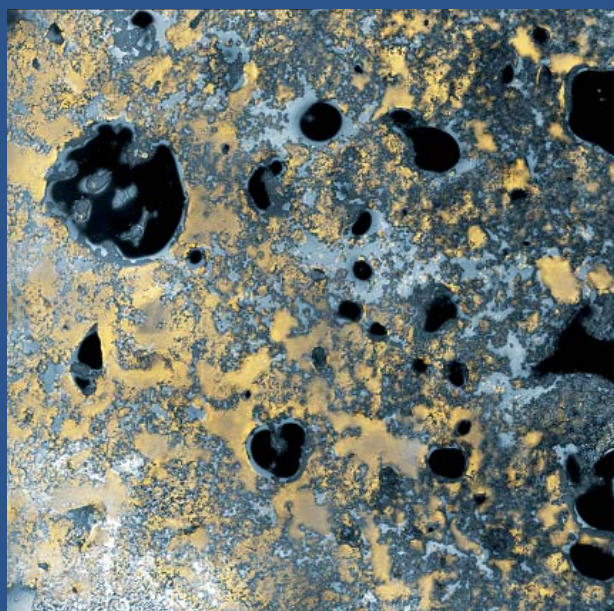
Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Fra amerikanske orkaner til danske stormskader.....	9
Marinehjemmeværnet hjælper havforskere	14
Slangens hemmeligheder	16
Se ind i maden	22
Nobelprisen i kemi 2015: Når kroppen reparerer DNA.....	28
Elektroner bliver ældgamle	40

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Giv plads til negative resultater.	2
Naturen sætter en grænse – status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø ..	34
Bogomtaler	43
Bagsiden: GPS-høstakken gemmer på lidt af hvert...	44



Se ind i maden

22

Med de nyeste mikroskopiteknikker er det nu muligt at "se" ind i maden og visualisere, hvordan vand, fedtstoffer, proteiner og kulhydrater er placeret i forhold til hinanden, fx i mayonnaise, ost, flødeskum, marengs og smør. Det giver os mulighed for bedre at forstå madens struktur, som er afgørende for smagsoplevelsen.

Droner lærer af flagermus

Foto: SDU, Det Tekniske Fakultet



Flagermusenes evne til at flyve hurtigt og tæt uden at støde ind i hinanden har inspireret forskere fra Syddansk Universitet til at udvikle et anti-kollisionssystem til droner. Dronen ændrer selv kurs, hvis den er i fare for at flyve ind i fx et træ eller en anden drone. Det er første skridt til, at droner kan flyve uden menneskelig indblanding.

»I fremtiden vil vi se droner alle steder, og vi har brug for at øge sikkerheden, så de ikke flyver ind i hinanden. Vi har derfor implementeret et anti-kollisionssystem til droner, der udnytter en teknik, man ser hos flagermus, nemlig ekkolokalisering,« siger civilingeniør i Robotteknologi Mathias Flindt.

Flagermus benytter ekkolokalisering som en unik måde at orientere sig i luften. Det sker ved, at den udsender nogle ultralydsskrig. Når lydbølgen rammer fx et træ eller en anden flagermus og kastes tilbage, ved flagermusen, hvor tæt den er på genstanden, og på den måde undgår den at kollisionere.

Brug af droner er ofte begrænset til flyvning i dagslys og med god sigtbarhed. En fordel ved et ekkolokaliseringssystem er, at det også fungerer om natten, og når sigtbarheden er dårlig. Dette skaber nogle helt nye muligheder for anvendelsen af droner. I første omgang er den nye teknik tænkt som en assistance til piloten. Hvis piloten, som styrer dronen, styrer den for tæt på en bygning, vil dronen selv korrigere og holde en fornuftig afstand. På længere sigt skal projektet munde ud i en drone, der på egen hånd kan flyve rundt i en skov, som en flagermus.

Mette C. Møller Andersen, Det Tekniske Fakultet, SDU

App hjælper tropeskov

20 % af de menneskabte CO₂-udledninger stammer fra afbrænding og ødelæggelse af tropiske skove. I sensommeren 2015 var situationen helt ude af kontrol, da løbske skovbrande hærgede Indonesien og forpestede nabolande som Malaysia, Singapore og det sydlige Thailand, hvor skoler måtte lukke og folk fik seriøse luftvejsproblemer.

I Cambodja går det heller ikke godt med at stoppe ulovlig skovhugst og dermed bevare verdens lunger. Men en lille app udviklet på Københavns Universitet og en solid database samme sted, har gjort det lidt nemmere for lokale aktivister i Prey Lang-skoven at få overblik over skovens ressourcer og de steder, hvor der bliver fældet ulovligt. Aktivisterne er lige blevet belønnet med FN's prestigefyldte UN Equator Prize under klima-topmødet i Paris, hvor det dansk-cambodianske skovprojekt vandt foran 1.462 nominerede projekter fra 126 forskellige lande. Det unikke skovområde er på ca. 6.000 km² og er levebrød for omkring 200.000 lokale beboere. Men desværre er Cambodja præget af udbredt korruption og dobbeltmoral, så det skriger til himlen. Landets nuværende premierminister Hun Sen er så gennemkorrupt, at han har scoret omkring en milliard dollars på at vende det blinde øje til lokale erhvervsfolk, der uhemmet fælder skovene og sælger tømmeret videre til Kina og Vietnam, som bruger dem til bl.a. at fremstille møbler.

Med det dansk-cambodianske projekt er der et lille håb forude. Bevæbnet med mobiltelefoner, den specielt designede app og en hemmelig database, går de lokale indbyggere i Prey Lang-skoven til kamp mod illegale skovhuggere og korrupte politikere i landet. De bliver bakket op af forskere og studerende på Københavns Universitet, men det er

Afbrænding og ødelæggelse af tropiske skove er skyld i 20 procent af de menneskeskabte CO₂-udslip på verdensplan.



Foto: Colourbox

ingen let kamp, fordi der er så store penge i at omgå loven og stryge om sig med miljøvenlige floskler, som den cambodianske konge gjorde i Paris under FN's klimatopmøde, mens virkeligheden i hans eget land er en hel anden. 90 % af verdens sårbare naturområder ligger i de tropiske egne og polaregnene.

Svend Thaning, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet

Gammel misforståelse om kvælstof ryddet af vejen

Lærebøgerne skal skrives om, efter at danske mikrobiologer sammen med forskere i Østrig og Holland har aflivet en over 100 år gammel misforståelse om bakteriers rolle i jordens kvælstofkredsløb.

Via DNA-analyser har forskerne fundet frem til, at bakterier af familien Nitrospira både er i stand til at omdanne ammonium til nitrit og dernæst omdanne nitrit til nitrat. I 125 år er den såkaldte nitrifikation ellers blevet betragtet som en proces i to trin, hvor forskellige bakteriegrupper tog sig af hver sin del. Men de nyopdagede bakterier kan udføre hele nitrifikationen alene, og den forståelse ændrer grundlaget for, hvordan forskere tænker på omsætningen af kvælstof. Dermed har det også betydning for forskningen i klima, landbrug, drikkevand og spildevandsrensning.

Pink kolonier af nitrospira-celler i aktivt slam fra et renseanlæg. Hver koloni indeholder tusindvis af celler. Andre bakterier er grønne.

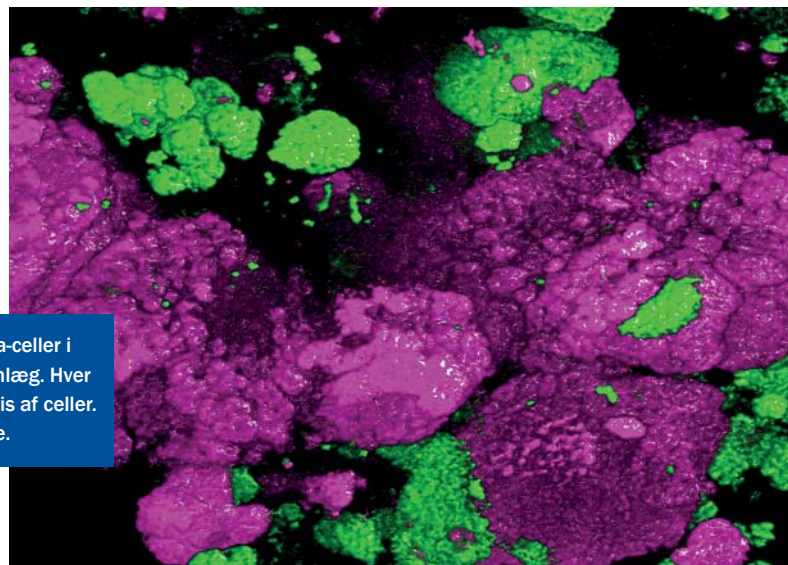


Foto: Holger Daims

Bakterieforskerne fra Center for Mikrobielle Samfund på Aalborg Universitet blev i foråret kontaktet af kolleger i Holland og Østrig. Begge steder havde de målt uforklarlige processer i deres bioreaktorer. Tilsyneladende var der ikke bakterier til stede, som kunne omdanne ammonium til nitrit. Alligevel blev der produceret masser af nitrat fra ammonium.

»Der måtte derfor være en eller flere ukendte ammoniumomdannende bakterier til stede i de to reaktorer. Det gjorde os meget interesserede i, hvordan det kunne lade sig gøre,« siger professor og centerleder Per Halkjær Nielsen, som sammen med postdoc Mads Albertsen og ph.d. Rasmus Kirkegaard fik tilsendt materiale fra samarbejdspartners reaktorer til analyse. Prøven fra Nijmegen i Holland stammede fra spildevandsrensning mens, prøven fra Wiens Universitet indeholdt bakterier fra en dyb russisk olieboring.

Efterfølgende har forskerne studeret DNA-materiale fra en lang række andre prøver. Det viser sig, at de nitrificerende arter også er udbredte i andre undersøgte økosystemer inklusive i prøver fra det lokale renseanlæg i Aalborg.

»De nye opdagelser vil derfor hjælpe mikrobiologer, agronomer og ingeniører verden over til at forstå kvælstofomsætningen i naturen, i landbruget og i forbindelse med rensning af drikkevand og spildevand,« vurderer Per Halkjær Nielsen. Resultaterne er præsenteret i to artikler i samme nummer af det videnskabelige tidsskrift Nature.

Carsten Nielsen, Aalborg Universitet. Kilder: Nature,

DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature16459> samt [nature16461](http://dx.doi.org/10.1038/nature16461)

Græske jordskælv i vente?

Jordskælv og vulkanudbrud i det græske øhav skyldes bevægelser i undergrunden, hvor den afrikanske plade skydes ned under den europæiske plade. Et team af forskere ledet af Vasiliki Mouslopoulou ved det tyske geovidenskabelige forskningscenter GFZ i Potsdam har ud fra kulstof-14-aldre af gamle strandlinjer på Kreta og havniveaukurver udført modelanalyser af, hvordan jordskælv over de seneste 50.000 år har skubbet denne græske ø i vejret. Forskerne konkluderer, at mindst 40 jordskælv med en størrelse på 8 på richterskalaen eller derover ville have hævet øen til dens nuværende niveau. De store jordskælv har ikke været jævnt fordelt over perioden, men er kommet i klynger med et interval på ca. 1300 år adskilt af stille perioder.

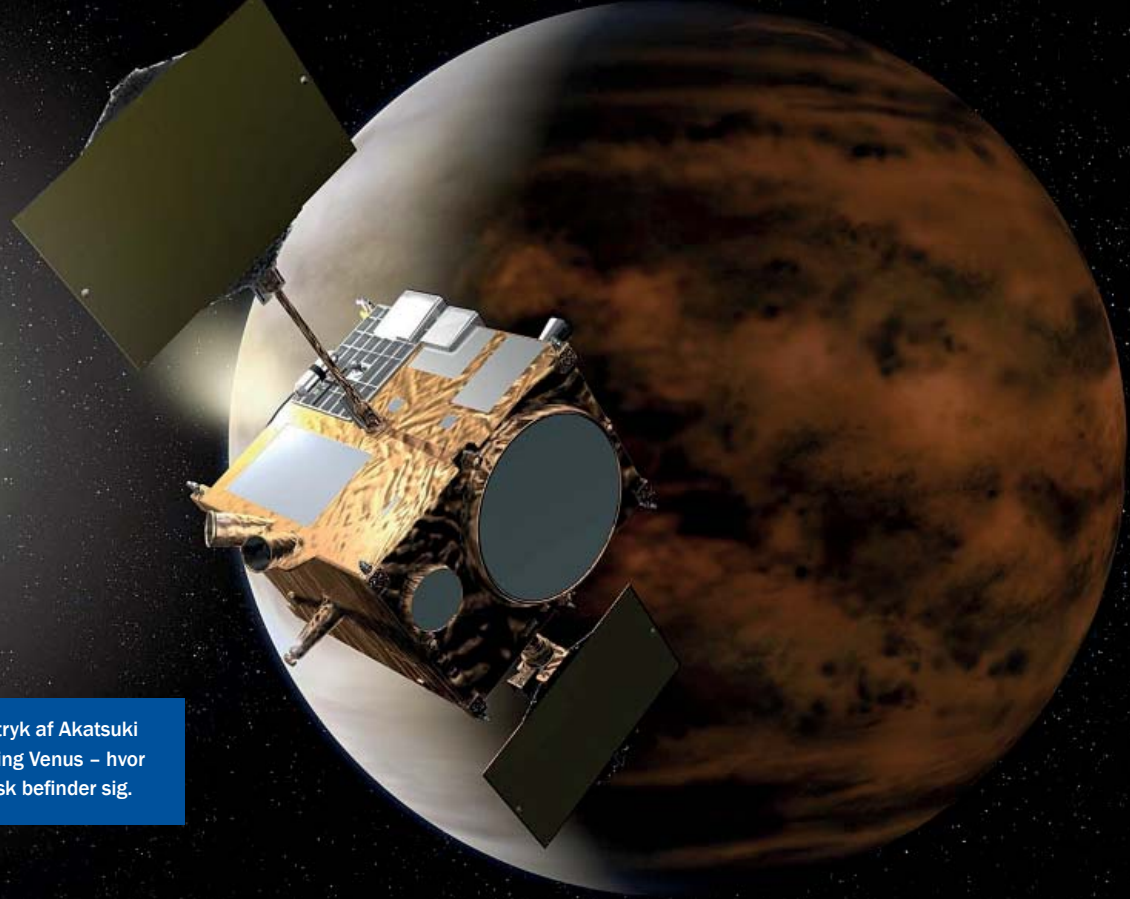
For ca. 1650 år siden, at et stort jordskælv løftede den vestlige del af øen med op til 10 meter, og derfor kan man frygte at en ny periode med ødelæggende megajordskælv – og tsunamier som følger deraf – geologisk set kan være nært forestående.

CRK, Kilde: Geophys. Res. Lett. <http://doi.org/9q3> (2015)



Foto: NASA

Den græske ø Kreta er over de seneste 50.000 år blevet hævet af store jordskælv, som tidsmæssigt er optrådt i klynger.



Kunstnerisk indtryk af Akatsuki i kredsløb omkring Venus – hvor sonden nu faktisk befinder sig.

Illustration: NASA

Bedre sent end aldrig!

At ramme forbi målet på en rummission kan være en dyr fornøjelse! Men det er dog heldigvis ikke altid, at det dyre isenkram dermed går tabt. I 2010 opsendte den japanske rumfartsorganisation (JAXA) rumsonden Akatsuki, som skulle udforske Venus' atmosfære for at blive klogere på, hvorfor denne planets atmosfære er så forskellig fra Jordens. Men på grund af en motorfejl lykkedes det ikke at få sonden bragt i det planlagte kredsløb om planeten i december 2010. Det sendte sonden ud på en fem år lang rejse 10 gange rundt om Solen, før den igen kom tilstrækkelig tæt på Venus til, at et nyt forsøg kunne gøres.

I mellemtiden havde de japanske ingeniører lagt en plan for, hvordan de kunne bruge fire små raketmotorer beregnet på at justere sondens orientering i omløbsbanen til at få sonden på ret kurs. Og den 9. decem-

ber 2015 kunne de meddele, at operationen var lykkedes, så Akatsuki nu befinder sig i en elliptisk bane omkring Venus med en omløbstid på 13 dage og 14 timer.

Den japanske rumfartsorganisation rapporterer, at sonden er ved "godt helbred", og ingeniørerne skal nu i gang med at teste funktionen af lasten af videnskabelige instrumenter ombord. I april 2016 forventer man, at den egentlige videnskabelige mission vil kunne påbegyndes. Til den tid vil sonden være justeret ind i en bane med en omløbstid på ca. 9 døgn, hvor den på det nærmeste sted er 400 km fra planetoverfladen, mens den som det andet yderpunkt vil være i en afstand af ca. 314.000 km fra den.

CRK, Kilde: Science, JAXA

Supernovaglød afslører dobbeltstjerne

I 2013 observerede astronomer første gang lyset fra den voldsomme stjerneeksplosion (supernova), som fik det lidet mundrette navn iPT-F13ehe. To år senere har astronomerne til deres overraskelse opdaget en efterglød fra denne kosmiske begivenhed, som kom fra gasskyer af hydrogen tæt på supernovaen. Takashi Moriya ved Universitet i Bonn, Tyskland og kolleger argumenterer i en artikel i tidsskriftet *Astronomy & Astrophysics* for, at den uventede efterglød kommer fra materiale, der er blevet flået af en anden stjerne ved den voldsomme begivenhed. De to stjerner har været i tæt omløb om hinanden (en såkaldt dobbeltstjerne), og energien fra den eksploderende stjerne kan have blæst en mængde hydrogen af sin nabo svarende til næsten massen

af vores egen Sol. Forskerne udleder af deres beregninger, at den ledsagende stjerne har en masse svarende til mindst 20 x Solens, og at de to stjerner har haft en gensidig afstand svarende til ikke mere end 20 gange radius af ledsagerstjernen.

Forskerne spekulerer, at hvis denne type lysstærke supernovaer generelt sker i dobbeltstjernesystemer, kan den tidlige fase af "lysen op", som er observeret i flere andre supernovaer af denne type skyldes, at materiale fra den eksploderende stjerne kolliderer med ledsagerstjernen.

CRK, Kilde: Astron. Astrophys. 584, L5 (2015)

Ny type skum til brandbekæmpelse

Brandbekæmpelse på stor skala involverer ofte brugen af syntetisk skum, som kan være baseret på perfluorerede forbindelser, som nok er effektivt, men også meget giftigt. Desuden kan det tage mere end 200 år at nedbryde dette skum i naturen.

Et team af kemikere fra ITMO Universitetet i St. Petersborg og den russiske forskningsinstitution SOPOT rapporterer nu i tidsskriftet *ACS Advanced Materials & Interfaces*, at de har udviklet en ny type skum til brandbekæmpelse, som overgår eksisterende skumtyper på vigtige parametre som evne til at kvæle ilden, stabilitet ved høje temperaturer og ikke mindst miljøvenlighed.

Forskernes skum er baseret på uorganiske silikat-nanopartikler, som danner et polymernetværk, når det udsættes for luft. Skummet klæber til det brændende objekt og køler det momentant ned, samtidig med at det selv hærder. Skummets uorganiske oprindelse gør, at det kan modstå temperaturer over 1000 °C, hvor de fleste andre typer brandhæmmende skum hurtigt nedbrydes, når temperaturen kommer over 300 °C. Efter ilden er slukket, vil forskernes nye skum absorbere vand og derved hurtigt falde fra hinanden i uskadelige silikatpartikler.

Forskerne har udført en serie storskala-eksperimenter med deres skum, hvor de bl.a. simulerede en skovbrand, hvor skummet blev brugt som brandbælte, der forhindrede branden i at brede sig.



Russiske forskere har opfundet en ny type skum til brandbekæmpelse, som angiveligt er 50 gange mere effektivt til at kvæle ild end vand.

Foto: Colourbox

CRK, Kilde: *ACS Advanced Materials & Interfaces*

DOI: 10.1021/acsami.5b08653

Fugle og mennesker synger på samme måde

Fugle og mennesker ser helt forskellige ud; de lyder helt forskelligt, og de har udviklet helt forskellige organer til at frembringe lyd med. Men nu afslører SDU-biolog Coen Elemans i tidsskriftet *Nature Communications*, at mennesker og fugle bruger præcist den samme fysiske mekanisme til at få deres stemmebånd til at vibrere – og dermed producere lyd.

»Videnskaben har vidst i mere end 60 år, at denne mekanisme styrer tale og sang i mennesker. Nu viser vi, at fugle bruger nøjagtig samme mekanisme. Måske er der ligefrem tale om en mekanisme, der findes hos alle landlevende hvirveldyr,« siger Elemans.

Gennem det seneste år har Elemans og hans kolleger studeret seks forskellige fuglearter fra fem ordener. Den mindste art, zebrafinken, vejer kun 15 gram, mens den største, strudsen, vejer 200 kg.

Alle de undersøgte fugle viste sig at bruge den samme mekanisme som mennesker. Mekanismen kaldes den myoelastic-aerodynamiske teori (MEAD mekanismen) og fungerer således:

I struben hos mennesker bliver luft fra lungerne skubbet forbi stemmebåndene, hvilket får dem til at vibrere sideværts. Ved hver vibration åbnes og lukkes struben, og dermed åbnes og lukkes der for luften, hvilket skaber lyd.

Et sekunds normal tale eller sang indeholder hundrede til tusinde af sideværts vibrationer af stemmebåndene. Samtidigt bevæger en anden bølgebevægelse sig over stemmebåndene fra lungerne mod munden, hvilket holder vibrationen i gang.



En blåhals.

Foto: Ruben Smit

I stedet for et strubehoved bruger fugle organet syrinx, som ligger dybt inde i kroppen og derfor er meget vanskeligt at studere.

»Men nu har vi formået at filme lydproduktion inde i fugle i detaljer vha. high-speed kameraer. Vi har bl.a. filmet zebrafinker, duer og strudse, og vi kan nu konstatere, at fugle også frembringer lyd i henhold til MEAD teorien,« siger Elemans.

Birgitte Svennevig, kommunikationsmedarbejder ved SDU

Kilde: *Nature Communications*, doi:10.1038/ncomms9978



Fra amerikanske orkaner

Danske parcelhuse tager tilsyneladende mere skade, når en storm raser end tilsvarende huse i vore nabolande. Med erfaringer fra amerikanske orkaner vil forskere måle vindbelastningerne på danske parcelhuse for at blive klogere på, hvordan vi kan minimere stormskader.

Forfatteren



Jens Johansson er adjunkt
Institut for Teknologi og
Innovation
Syddansk Universitet
jensj@iti.sdu.dk

Florida 2. juli 2014: klokken er 18, og telefonen ringer. Det er min kollega Forrest. Adrenalinet løber ud i kroppen. Det er det her, vi har ventet på. Den amerikanske vejrtjeneste NOAA har ændret deres forudsigelse af kursen for Hurricane Arthur. Man mener nu, at den vil ramme den amerikanske østkyst på independence day (4. juli) om cirka to døgn. Vi kører fra laboratoriet om 4 timer. Vi skal ud for at pakke bilerne og udstyret. Det er nu!

Jeg har orlov fra mine forpligtigelser på Institut for Teknologi og Innovation på Syddansk Universitet og er gæsteforsker på University of Florida. Gruppen, jeg besøger, er en del af et samarbejde mellem flere universiteter kaldet *Florida Coastal Monitoring*

Program. Forskerne i denne gruppe tager som nogle af de eneste i verden ud for at måle vindhastigheder og vindtryk på bygninger, når orkaner rammer. Jeg er med for at lære, hvordan nogle af verdens førende forskere foretager sådanne målinger. Vi skal bruge målingerne til at forbedre vores estimater af vindbelastninger på bygninger. På den måde får vi en bedre forståelse for, hvornår der sker stormskader, og hvad der skal til for at minimere dem. Mit ophold i Florida er et led i forberedelsen til at foretage lignende målinger på dansk jord.

På jagt efter Arthur

Grundlæggende sker en stormskade, fordi en bygning, eller dele af en bygning, udsættes for en vind-



← Udstyret monteres, inden masten rejses.

Det primære måleudstyr er fem Ultra-Soniske Anemometre, der monteres med stor forsigtighed. Måleskabet indeholder forskelligt datalogger-udstyr samt en bærbar pc, der er forbundet til et batteri og en generator, der også er bygget på traileren. Th.: Masten er rejst ved Billy Mitchel airport. Mastens solide konstruktion samt fire støtteben er tilstrækkelig til, at den er stabil selv under en orkan.

Fotos: Jens Johansson

til danske stormskader

belastning, der er større end bæreevnen. Hvis man vil se nærmere på årsagen til stormskader, må man altså blive klogere på enten belastningen eller bæreevnen. Vores arbejde er koncentreret omkring belastningen, da jeg tilbage i sommeren 2014 befandt mig på bagsædet af en af to trucks på jagt efter hurricane Arthur.

Vi forventer, at kunne få målinger fra Arthur på Cape Hatteras Island i North Carolina, og forude venter en lang køretur. Vi sidder hele natten i bilerne og holder øje med orkanens bevægelser og meteorologernes forudsigelser. Målingerne, vi skal foretage, udføres normalt med to typer udstyr: dels nogle mobile meteorologiske master, og dels nogle

trykmålere, der kan monteres på huse, der er forberedt til det. De mobile master kan foldes sammen, og vi medbringer dem på en trailer – en efter hver af de to trucks. Forskerne har aftaler med en hel række husejere langs kysten i Florida, og hvis en storm skulle ramme, kan de køre ud til de huse, der er nærmest det sted, hvor stormen forventes at “gå i land”. På denne tur har vi ikke trykmålerne med, da vi er fokuserede på at måle de faktiske vindhastigheder, der opstår på land.

Cape Hatteras ligger på “Outer banks” og det er, som navnet antyder, vitterligt ikke meget andet end nogle meget lange sandbanker. Vi kører altså fra Florida i syd mod North Carolina i nord, mens



Væltede "mobile homes"
(store campingvogne) i
North Carolina – ødelæg-
gelser skabt af Arthur's
stærke vinde.

Foto: U.S. Coast Guard Mid-Atlantic

Foto: NASA

↑ Hurricane Arthur den
3. juli 2014 på vej mod
North Carolina.

→ Oversvømmelser ved
Rodanthe Pier på Hatteras Island
efter passagen af Hurricane Arthur.

Foto: U.S. Coast Guard Mid-Atlantic

→ På vejen tilbage efter at have opsat
masterne er lange strækninger dækket
med vand. Vandet holder sig heldigvis netop
under døren, så vi undgår vand i bilerne.

Foto: Jens Johansson

stormen – ud for kysten også langsomt bevæger sig
dels mod nord og dels mod kysten.

Man kører ud på sandbanken i den Nordlige ende –
vi rammer broen dertil inden middag og skal 37 km
mod syd – altså mod stormen – inden vi er fremme.
Vi drøfter gentagne gange, hvorvidt vi kan nå ned
og sætte udstyr op – og komme tilbage på fastlan-
det, inden stormen rammer. Forudsigelserne varie-
rer, men vi beslutter at fortsætte og beslutter, at vi
skal køre derfra senest kl 18.

Op med masten

Det er på mange måder surrealistisk at sidde i en bil,
der helt bevidst er på vej mod en orkan. På vores
vej møder vi overvældende mange biler på vej væk

fra det ellers noget tyndt befolkede område. Der er
flere vejspæringer, og "state troopers" har også luk-
ket broerne. Men med en kort forklaring af vores
formål og en forsikring om, at det er vores intention
at skynde os ud af området igen, inden orkanen for
alvor rammer, får vi lov at køre videre.

Vores første destination er en lille lufthavn, hvor
underlaget vil sikre, at masten står rigtig godt. Der
er livlig aktivitet omkring de små fly, der er ved at
blive spændt fast til landingsbanen, så de ikke bli-
ver beskadiget. Udstyret til masterne, der bliver
færdig monteret på stedet, er både kostbart og sær-
bart – til trods for, at det kan holde til en orkan.
Derfor foregår monteringen med stor forsigtighed.
Efter vi er kommet frem, føler vi os ikke længere

Nye tryksensorer

Trykmåler-systemet fra SDU er baseret på trådløse enheder, der måler trykket 43 gange i sekundet samt temperaturen en enkelt gang. Målingerne sendes på skift til en central enhed, der er tilkoblet en computer. Man skal forestille sig, at vi monterer 40-50 af disse sensorer på taget af et parcelhus samtidig med, at vi nøje måler vinden fra en meteorologisk mast så nær ved huset som muligt.

Tv: Billedet viser tre forskellige prototyper samt elektronikken til de første 20 enheder.

Th: Billedet viser et eksempel på en af de prototyper, der er blevet udviklet sammen med den elektronik, som skal monteres indeni.



så pressede – i hvert fald ikke før det elektriske spil, der skal rejse masten, pludselig ikke virker. En noget febrilsk fejlsøgning viser, at en samling på forsyningen til spillet angiveligt ikke kunne overføre nok strøm. Det lykkedes endelig, batteriet i traileren er opladet, generatoren kører og computeren modtager målinger! Men klokken har passeret 17, og vores plan om at forlade området i tide forekommer håbløs.

I sikkerhed

Den anden mast vil vi sætte op i en park, og ironisk nok er de Park Rangers, vi skulle passere, noget mere skeptiske – men ind kom vi. Masten skal sættes op på et areal med græs, og vi frygter, at området vil blive oversvømmet – hvilket unægtelig vil give nogle kedelige udfordringer dagen efter. Men vi er ved at løbe tør for tid – hvis masten skal op, skal det være nu. Pludselig forekommer det ellers hastig sammensatte hold som et team, der aldrig har lavet andet, og mast nummer to er rejst på mindre end en time. Orkanens væg (eyewall) er ca. 48 km ude, og den bevæger sig mod os med 19 km/t. På vej mod vores hotel står det klart, at vi når frem, inden stormen rammer. De fleste af os har ikke lukket et øje det seneste halvandet døgn, og efterhånden som adrenalin forlader kroppen, er det i den grad tid til hvile. Faktisk er vi så trætte, at kun en af os vågner ved lyden af orkanen, der – ironisk nok – passerer lige hen over hotellet.

Dagen efter vågner vi til nyheden om, at husene er sluppet billigt, og at det primært er vandmasserne, der gør det svært at komme tilbage til masterne. En enkelt midlertidig bro forekommer at være delvist undermineret af vand, og enkelte steder er vejen skyllet væk, men vi ser kun huse med mindre skader. Vi kører store dele af strækningen gennem vandmasser, men kan heldigvis komme frem til begge master, og bare fem timer efter vi forlod

hotellet, kan vi sætte kursen mod Florida. Vi har sikret målinger, der på sigt kan være med til at gøre os klogere på disse storme – turen i bilen hjem går naturligvis med at begynde analysen!

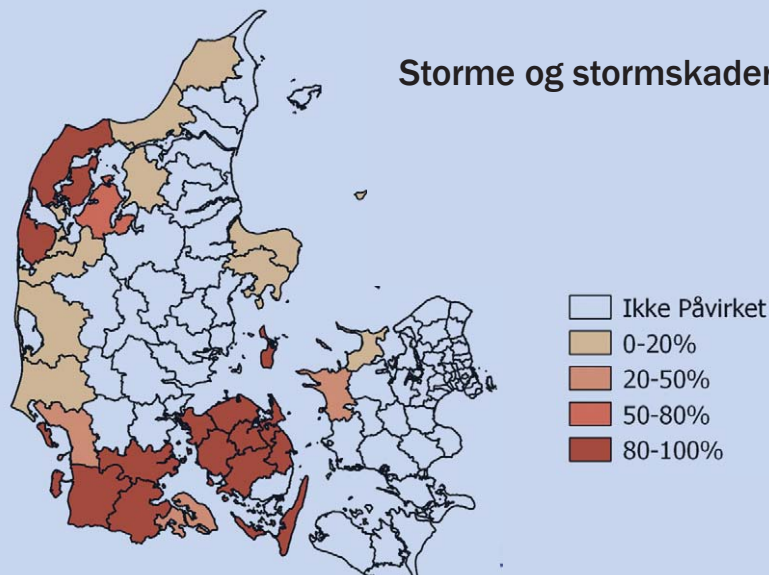
Fra vindtunnel til virkelighed

Når en bygningsingeniør skal designe en bygning, har han behov for at estimere, hvor stor belastningen fra vinden vil være på den pågældende bygning. I Europa laver man dette estimat ud fra forskrifterne i en fælleseuropæisk norm. Ingeniøren skal således tage hensyn til, hvor bygningen ligger – dvs. i hvilket land og hvor i landet. Det gør det muligt at sige noget om, hvor voldsomme storme man må forvente der, hvor bygningen er placeret. Man skal tage hensyn til, om bygningen ligger på en åben mark eller midt inde i byen, det kalder man terrænkategorien, og endelige skal man tage hensyn til husets udformning. Der er eksempelvis meget forskel på et hus med fladt tag og et hus med et sadeltag.

Normen indeholder estimater af vindbelastningen på bygninger med en *typisk* udformning. I praksis vil man for næsten alle parcelhuse kunne estimere vindbelastninger på denne måde. Når man bygger større bygninger, typisk høje eller meget specielle bygninger, kan disse estimater dog være så meget på den sikre side, at det vil være en god investering af få undersøgt vindbelastningerne nærmere gennem vindtunnelforsøg.

Sådanne forsøg går i alt sin enkelthed ud på, at man laver en skalamodel af en bygning, fx i skala 1:100. Modellen kan eksempelvis laves af gennemsigtige plastplader, og man borer derefter en masse små huller i modellen og fører nogle små trykslangetube fra modellen ud til en trykmåler. I vindtunnelen efterligner man vindens variation med højden over jorden. Man måler den faktiske vindhastighed

Storme og stormskader



Kommuner påvirket af vind > 25 m/s (storm) i 2013. Estimeret andel af kommunen i %

Der er naturligvis store forskelle på de vinde, der rammer USA og Nordeuropa, men for en vindingeniør er problematikken nøjagtig den samme. Vi skal blive bedre til at forstå, hvor store tryk en storm giver anledning til på en bygning. Når vi siger vindtryk, er det i ingeniørmæssige forstand både tryk og sug – dvs. henholdsvis positivt og negativt tryk. Faktisk er det sug, der er skyld i en stor del af skaderne: Gavle bliver suget ud, tagsten bliver suget op, osv.

De største sug opstår naturligvis under de stærkeste storme. I USA er de stærkeste storme typisk orkaner eller tornadoer. En orkan (i Amerika: Hurricane) er et meget stort roterende vejrssystem, hvis størrelse typisk måles i hundredevis af kilometer. Vejrsystemet udvikler sig over længere tid, og man kan, ofte flere dage i forvejen, forudsige, hvor en orkan forventes at ramme og med hvilken vindhastighed. Orkanen må ikke forveksles med en tornado. Tornadoer er meget små i

sammenligning – fra få meter i diameter op til måske et par kilometer. De opstår meget pludseligt, normalt i forbindelse med tordenvejr, og deres varighed skal typisk måles i minutter. Begge fænomener kan forårsage massive skader på bygninger. Faktisk kan man også opleve tornadoer i Danmark, men det er yderst sjældent. Den seneste, som jeg kender til, ramte Holstebro i februar 1962 og ødelagde et bælte af bygninger – mirakuløst uden at nogen omkom. Så sent som i maj ramte en tornado byen Bützow i Nordtyskland.

Når Danmark rammes hårdest, er det af orkanlignende vinde. Da vores huse overordnet set er solidt byggede, er der sjældent menneskeliv på spil – i hvert fald ikke på grund af den måde, vi bygger på. Så det interessante ingeniør-perspektiv i en dansk sammenhæng er primært, hvor store skader, vi kan og vil acceptere på vores bygninger under en storm.

Den kraftigste og dyreste orkan, der har ramt Danmark, hærgede flere lande i Nordeuropa den 3. december 1999 og kostede dengang de danske forsikringsselskaber 13,1 mia. kr. Forsikringsselskabernes brancheorganisation vurderer, at stormskader på parcelhuse samlet har kostet ca. 1,4 mia. kr. i bygningsskader de seneste 9 år. En stor del af dette skal tilskrives, at Danmark i 2013 blev ramt af to storme, Allan og Bodil, der tilsammen kostede ca. 907 mio. kroner i bygnings-skader på de danske parcelhuse alene fordelt på 106.000 bygningsskader. Det svarer til, at ca. 7 % af alle parcelhuse fik en skade. Hvis man ved hjælp af vindkort fra DMI estimerer, hvor vinden ramte hårdest, og hvor mange huse der faktisk findes i disse områder, peger det på, at op mod 36 % af parcelhusene har haft en skade. Den rigtige procentdel vil derfor være et sted mellem 7 og 36 %.

i en kendt højde et sted i tunnelen, samtidig med at man måler, hvilke tryk der kommer på bygningen, når den er orienteret med forskellige vinkler mod vinden. På den måde kan man altså begynde at oversætte en vindhastighed til vindtryk på bygningen.

Forskrifterne for parcelhuse er også baseret på historiske vindtunnelforsøg, og netop her opstår kimen til mit arbejde med vindbelastninger. Vind-tunnelmålingerne er nemlig aldrig blevet kontrolleret med målinger fra den virkelige verden. Netop derfor er forskerne fra Florida ude at måle faktiske vindbelastninger på virkelige huse.

Det betyder ikke, at der ikke er andre, der har foretaget målinger på virkelige bygninger. Det meste af min tid i Florida er brugt på at gennemgå tidligere projekter sammen med mine kolleger. Det arbejde forventer vi at udmønte i en såkaldt review-artikel, som vi stadig arbejder på.

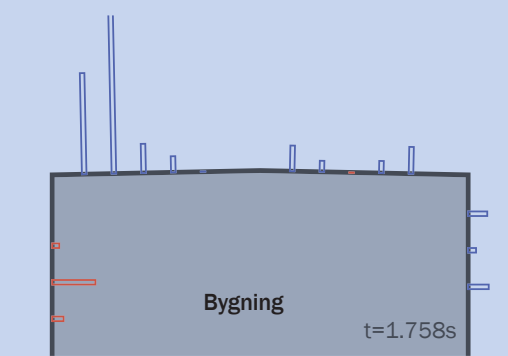
Forfatterens ophold på University of Florida blev støttet af Ulla og Mogens Folmer Andersens Fond, Reinholdt W. Jorck og Hustrus Fond, samt Ingeniør Alexandre Haynman og Hustru Nina Haynmans Fond.

På vej mod danske målinger

Med den baggrund forbereder jeg sammen med studerende, samarbejdspartnere og kolleger næste generations fuldskala-observationer. Det indebærer bl.a. indkøb og forberedelse af udstyr til meteorologiske master samt udviklingen af helt nye sensorer til at måle tryk på bygningerne. Udviklingen af disse trykmålere er en tværfaglig indsats, der involverer viden om bygninger, om vinden og de tidligere arbejder med fuldskala-målinger, men også om elektronik, mikroprocessor-programmering og design. Senest har vi i foråret fået uvurderlig hjælp af fem designingeniørstuderende, der har udformet "huset" til vores trykmålere og printet prototyperne på en 3D-printer. I sensommeren har vi overkommet en barriere med datatransporten mellem en central modtagerenhed og den computer, der skal tage imod målingerne. I skrivende stund står vi foran at skulle samle de første prototyper, og forude venter så afprøvninger hos Velux i Danmark og i en af verdens største vindtunneller i South Carolina, USA.

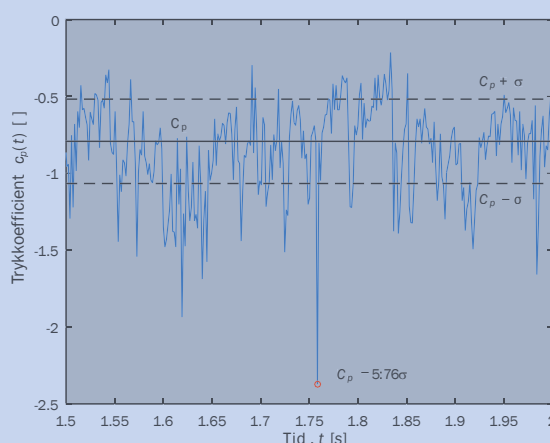
Vindtunnelforsøg

Figurene viser resultater fra et vindtunnelforsøg på University of Florida med simulering af strømmingen omkring "Wind Engineering Research Field Laboratory (WERFL)" bygningen på Texas Tech University, Lubbock, Texas. Det er netop den bygning – netop den fysiske model – som tre af mine studerende skal teste i to forskellige vindtunneler i 2016. Ved at foretage observationer i fuldskala kan man vurdere, om målingerne fra



Figuren viser et tværsnit midt på bygningen, hvor der er angivet et øjebliks billede af trykkene på overfladen. På Figuren kommer vinden ind fra venstre, og de røde bjælker indikerer et tryk på bygningen, mens de blå indikerer et sug. Under dette forsøg er trykkene målt i 216 punkter 625 gange i sekundet over en periode på 16 s. For hvert målepunkt er der således 10.000 målte værdier.

vindtunnelforsøgene er retvisende. En af de ting netop WERFL har været med til at vise er, at fuldskala-observationerne kan opleve tryk, der afviger væsentligt mere fra middelværdien end vindtunnelerne gør. Der er stadig uenighed om, hvor store disse afvigelser er og, hvorvidt det har praktisk betydning, men nogle forskere har rapporteret værdier, der meget lokalt afviger med en faktor 2-3.



Figuren viser et udsnit af tidsserien fra målepunktet med det højeste sug. For overskuelighedens skyld er der kun vist data for et halvt sekund. Trykket er angivet ved en trykkoefficient $c_p(t)$, der bruges som en dimensionsløs angivelse af tryk ved dimensionering af konstruktioner. Figuren viser også middelværdien og standardafvigelsen (sigma) af signalet. Det ses, at den maksimale værdi i dette tidsrum er 5,76 standardafvigelser væk fra middelværdien.

Den næste tid skal bruges på at søge midler til arbejdet, mens vi dels arbejder videre med vores trykmålere og dels tager hul på nogle af udfordringerne. En udfordring er fx at få vindretningen til at ændre sig lige så meget i en vindtunnel, som den gør i virkeligheden – og det giver naturligvis problemer, når man vil sammenligne resultaterne fra modelskala og fuldskala med hinanden.

Meningsfyldt arbejde

En af udfordringerne indebærer også, at man skal kunne sammenligne målinger foretaget i forskellige tunneller. Hvis man har foretaget målinger på en virkelig bygning, som man gerne vil efterligne i en vindtunnel, må man have tillid til, eller sikre sig, at to forskellige tunneller giver samme resultat. Netop med den baggrund er tre af mine studerende ved at forberede sig til arbejdet med deres speciale på deres toårige overbygning *civilingeniør i konstruktionsteknik*.

Næste sommer er det planen, at de skal udføre målinger på en skalamodel af en bygning, hvorpå der tidligere er foretaget fuldskala-målinger. Vi forventer, at de skal udføre forsøg dels i København, og dels i Vermont, USA. Deres arbejde vil med stor sandsynlighed kunne publiceres, vores samarbejdspartner får en gensidig validering af deres tunneller, og de studerende står med en meningsfyldt problemstilling. På samme måde har vi aktuelt to studerende på et lignende ophold hos Statens Vegvesen i Norge, hvor de arbejder med at håndtere de vindtekniske problemer, der er relateret til designet af meget lange hængebroer – men det anden historie.

Når de er færdige, står de studerende altså dels med de kompetencer, vi giver dem papir på, men også med erfaringer, der rækker langt ud over det faglige. På den måde bliver arbejdet med storme og stormskader endnu mere meningsfyldt for mig. Pludselig er forbindelsen mellem de amerikanske orkaner og de danske stormskader så meget andet og mere end bare luft. ■

Yderligere læsning

Principperne for estimering af vindlast på små huse: Cook NJ. 1990. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2, Static structures: Building Research Establishment.

En sammenfatning: Balderama JA, Masters FJ, Gurley KR, Prevatt DO, Aponte-Bermúdez LD, Reinhold TA et al. (2011): The Florida Coastal Monitoring Program (FCMP): A review. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 99:979-95.

Introduktion til et fuldskalamålingsprojekt: Levitan ML, Mehta KC. (1992): Texas Tech field experiments for wind loads part 1: building and pressure measuring system. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 43:1565-76.

Marinehjemmeværnet hjælper havforskere

Takket være et enestående tilbud om sejltid fra Marinehjemmeværnet har danske havforskere gennemført 49 forskningstogter de seneste to år. Dermed er der gennemført en række forskningsprojekter, som ellers aldrig var blevet til noget.



Et net sættes ud.

Havene spiller en altafgørende rolle for klobens sundhed. Det er i havene, vi henter store mængder føde, de bringer varme, kulde, regn og storm til os, og de er hjem for flere levende skabninger end landjorden. Derfor giver det god mening for forskere at drage til søs – men desværre er havforskning en dyr disciplin. Det koster min. 15-20.000 kr. at chartre et lokalt fartøj i nogle timer, og hvis man skal have fat i et egentligt forskningsfartøj, løber udgifterne hurtigt op i mere end 100.000 kr. i døgn. Så det er ikke svært at forstå, hvorfor havforskere kun kan realisere en lille del af de forskningsprojekter, de drømmer om.

Et samarbejde mellem Dansk Center for Havforskning og Marinehjemmeværnet har dog de seneste par sæsoner sikret gennemførelsen af en række forskningstogter, således at danske havforskere kan se tilbage på afviklingen af 49 togter siden 2013.

»Vi har et helt unikt samarbejde med Marinehjemmeværnet, som gerne tager havforskere med ud at sejle i de perioder, hvor de ikke har egne og akutte opgaver. Det er en ordning, som giver os gratis sejltid ombord på et professionelt drevet fartøj med en dygtig besætning«, siger professor Hans Ulrik Riisgaard, Marinbiologisk Forskningscenter, Syddansk Universitet.

Hans Ulrik Riisgaard er en af idémændene til aftalen med Marinehjemmeværnet. De første fælles ture kom i stand, fordi Marinehjemmeværnet har et fartøj liggende i Kerteminde, lige ved siden af Hans Ulrik Riisgaards daglige arbejdsplads, Marinbiologisk Forskningscenter, hvor en del af SDUs biologer holder til. Her bor bl.a. også to sæler, nogle skarver og et utal af havsvampe, gopler og muslinger i centrets tanke – vidnende om, at centrets arbejde er stærkt centreret omkring havforskning.

De første fælles ture ud fra Kerteminde Havn gik godt, og i dag er samarbejdet formaliseret i en aftale, indgået mellem Marinehjemmeværnet og Dansk Center for Havforskning, der hører under Forsknings- og Innovationsstyrelsen.

Ikke kun for havforskere

Forskerne er ikke de eneste, der har gavn af samarbejdet. Iflg. fartøjsfører Henning Bach, der er koordinator for Marinehjemmeværnets sejlader for dansk havforskning, er togterne god træning for besætningen.

»Når vi har havforskere med, er der fx brug for, at vi holder en bestemt position uanset vejr og strømforhold; vi skal sætte måleinstrumenter i søen og bjerger dem igen; følge en flok marsvin på åbent vand – eller vi skal lokalisere og bjerger måleudstyr på havbunden. Sådanne opgaver er god træning for os, og det giver mere mening at træne med havforskere på en virkelig og meningsfuld opgave end "bare" at træne med fx at bjerger øvelses-genstande«, siger Henning Bach.

På jagt efter dræbergoplerne

En del af de sidste par års togter har haft fokus på gopler. Sammen med Hans Ulrik Riisgaard og ph.d.-studerende Josephine Goldstein, også fra SDU, har Marinehjemmeværnets fartøjer indsamlet gopler, primært i Limfjorden. I sommeren 2007 blev dræbergoplen første gang observeret i Limfjorden, og lige siden har Hans Ulrik Riisgaard fulgt den invasive gople, som har vist sig at bidrage til øget iltsvind og dårlige levevilkår for sild og brisling. »Dræbergoplerne æder zooplankton, og når de optræder i store mængder, kan de praktisk taget æde rub og stub i løbet af kort tid, sådan som vi har set det i Limfjorden«, siger han.

Zooplankton er små filtrerende dyr, som æder planktonalger. Når dræbergoplerne har støvsuget et område for zooplankton, er der ingen til at æde de mikroskopiske planktonalger, og det fører til masseopblomstring af alger, som gør vandet grønt. Men når algerne senere synker til bunds og dør, går de i forrådnelse under forbrug af ilt. Derfor kan dræbergoplerne være med til at øge iltsvindet.

Dræbergoplerne giver desuden dårlige levevilkår for sild og brisling, som også lever af at æde zooplankton, men det er uvist hvor store skader, der evt. er

Om forfatteren



Birgitte Svennevig
Kommunikationsmedarbejder, Det Naturvidenskabelige Fakultet
Syddansk Universitet
birs@sdu.dk



Fotos: Hans Ulrik Riisgaard

tale om, da omfanget af mulige skader på opvoksende små sildefisk i Limfjorden aldrig er blevet undersøgt.

»Vores seneste undersøgelse i Limfjorden blev udført i samarbejde med Marinehjemmeværnet, som stillede et fartøj med fuld besætning til rådighed for fem gopletogter i 2014. Under de første to togter i det tidlige forår og forsommer fandt vi ikke nogen dræbergopler i Limfjorden. Men på det tredje togt begyndte dræbergoplerne pludselig at dukke op i stort antal. Det hang sammen med, at vand fra Nordsøen blev presset ind i Limfjorden gennem Thyborøn Kanal. Dræbergoplerne havde overlevet vinteren i det hollandske vadehav og var med havstrømmen ført til den meget næringsrige Limfjord, der fungerer som opformeringssted, hvorfra dræbergoplerne føres til Kattegat og de indre danske farvande«, siger Hans Ulrik Riisgaard.

Dræbergoplerne klarer sædvanligvis ikke vinteren i de danske farvande, men nu tyder det på, at der ved re-invasion hver sommer kommer friske forsyninger af dræbergopler til Limfjorden. Limfjorden er det eneste danske område, hvor biologer har lavet systematiske undersøgelser og dokumenteret dræbergoplens miljømæssige effekter. ■

↑ Forskerne tømmer fangsten fra et net over i en spand. Jo - der er gopler i vandet →



Sådan kan havforskere få skibstid

Dansk Center for Havforskning behandler ansøgninger om skibstid på række danske skibe. Formålet med togterne skal være forskning eller uddannelsesaktiviteter, som er til gavn for dansk havforskning.

DANA drives af DTU Aqua, som også råder over fire mindre fartøjer. DANA bruges primært af DTU Aqua, men kan også chartres til andre forskningsprojekter. DANA har fem våd- og tørlaboratorier, og hun er udrustet til trawlfiskeri, vandprøvetagning og bundprøvetagning. AURORA er Aarhus Universitets forskningsskib. Det sejler i danske farvande og kan chartres. FLÅDESKIBE Forsvaret har en række skibe, hvoraf enkelte kan indgå i forskningssammenhænge, herunder særligt skibe, der opererer i Nordatlanten ved Grønland og Færøerne. MARINEHJEMMEVÆRNET har 30 fartøjer, der opererer i danske farvande. De har intet permanent videnskabeligt udstyr ombord, og forskerne skal selv medbringe alt udstyr til forskningsbrug. Læs mere på danskhavforskning.net



Foto: Shutterstock

Slangens hemmeligheder

Slanger mestrer fordøjelsens kunst som intet andet dyr. Tobias Wang har i mange år studeret stofskifte og kredsløb hos pytonslanger og andre "ekstreme" dyr for at blive klogere på de generelle mekanismer, der ligger bag – også hos mere gennemsnitlige dyr som os selv.

Af Carsten R. Kjaer,
Aktuel Naturvidenskab
red@aktuelnaturvidenskab.dk



**DET FRIE
FORSKNINGSRÅD**
DANISH COUNCIL
FOR INDEPENDENT
RESEARCH

Artiklen bringes i
samarbejde med
Det Frie Forskningsråd
| Natur og Univers.

Slanger og giraffer er ekstreme dyr, omend på hver deres måde. Slanger faster typisk i mange måneder, men spiser så til gengæld enorme måltider, der stiller helt særlige krav til fordøjelsessystemet. Giraffen er for sin del udstyret med en ekstremt lang hals og et dertilhørende blodtryk, der ville få menneskes hjerte til at bryde sammen, hvis det skulle pumpe blod op i girafhoved-højde.

Man kan nemt forledes til at tro, at fascinationen af det ekstreme er motivationen for at forske i netop disse dyr. Men for Tobias Wang, der er professor i zoofysiologi ved Aarhus Universitet, handler studier af det ekstreme om at blive klogere på det almindelige. Når han fx har kastet sig ud i at studere giraffens kredsløb, er det i høj grad ud fra et ønske om at blive klogere på de basale mekanismer, der dikterer kredsløbets funktion hos alle dyr. Og et ønske

om at identificere de grænser, der betinger organernes og kroppens funktioner. Denne videnskabelige tilgang – at arter med særlige tilpasninger er velegnede til at studere generelle mekanismer – kendes som August Krogh-princippet, opkaldt efter den danske Nobelpristager August Krogh. Brugen af Krogh-princippet har været ledetråden for Tobias Wang, som udover at forske i stofskiftet hos slanger og giraffer også studerer skildpadder, tudser, fisk og en række andre mere eller mindre eksotiske dyr.

Slangens plastiske tarm

Tobias kastede sig over slanger allerede som biologistuderende, da han tog til Brasilien på fjerde studieår. I dag, knap 25 år senere, er pytonslangen en gennemgående figur i hans forskning. Det skyldes, at slanger på det nærmeste har perfektioneret evnen til at opregulere funktionen af fordøjelsessystemet



Foto: Johnnie B. Andersen

Slanger i skanneren

For at studere slangernes kredsløb og fordøjelse har Tobias Wang og kolleger etableret et unikt samarbejde med Klinisk Institut på Skejby sygehus. Ved hjælp af MR-skannere kan forskerne bestemme organernes størrelse, og de kan lave kvantitative målinger af blodgennemstrømningen til forskellige organer. Forskerne bruger også PET (positron emissions tomografi) til at bestemme stofskiftet i de forskellige organer. Netop nu arbejder Tobias og kolleger på at forfine disse metoder, så man kan følge skæbnen af de forskellige

næringsstoffer og dermed gøre det muligt at bestemme, hvor de forskellige næringsstoffer deponeres og forbrændes. Skanningsteknikkerne har den store fordel, at man kan gentage målinger på de samme individer uden at skade dyret ved at skære i det eller indoperere måleudstyr. Dog er det oftest nødvendigt at bedøve forsøgsdyrene, og Tobias' gruppe vil derfor også målrettet undersøge, hvordan de mange forskellige bedøvelsesmidler påvirker slangernes fysiologi.

fra en dvalelignende tilstand i faste til fuld kapacitet allerede 6-24 timer, efter de har slugt et bytte. Pytonslangen er derfor et særdeles velegnet dyr til at studere de indre organers fleksibilitet, som tillader, at organernes funktioner tilpasses både adfærd og ydre miljøpåvirkninger. Tobias har sammen med sine mange forskningskolleger været med til at vise, at den hurtige fordobling af tarmens størrelse hos pytonen primært skyldes, at de enkelte tarmceller vokser, sådan at tarmes yderste celler udfoldes nærmest som en harmonika. Denne ændring af tarmens form skabes gennem tilstedeværelsen af næringsstoffer i tarmens indre og forekommer derfor slet ikke, når man forhindrer det fordøjede bytte i at komme fra maven til tarmen.

Et af Tobias' nuværende projekter handler om at identificere de signalveje i cellerne, der ligger til

grund for væksten. Det står allerede klart, at mange tusinde gener tændes, når organerne "vågner" fra den slumrende, inaktive tilstand i det fastende dyr, og stofskiftet stiger fem gange eller mere.

En mester i stofskifte

Stofskiftet forøges under fordøjelse hos alle dyr inklusiv mennesker, men igen er pytonslangen helt ekstrem. Store måltider, fx når slangen spiser mere end 50 % af sin egen kropsvægt, udløser en stofskiftestigning, der overstiger den, som kan måles under maksimal fysisk aktivitet. Hvis man vil bestemme konditallet hos en pyton, bør det altså ske under fordøjelse i stedet for på løbebanen som hos mennesket!

Den specifikke fysiologiske eller biokemiske mekanisme, der ligger til grund for stigningen i stofskif-



Foto: Jesper Rals, Aarhus Universitet

Tobias siger selv, at han altid har interesseret sig for zoologi, men at han også overvejede at læse medicin – så det er nok ikke helt tilfældigt, at karrieren endte i zoofysiologien. Som 24-årig kandidat fra biologistudiet ved Aarhus Universitet tog han til Brasilien og USA i et par år og kunne derefter forsvare en ph.d.-afhandling om ventilationsregulering hos krybdyr og padder. Han fortsatte med en række postdocs i USA, Canada og Danmark, inden han blev ansat som "lecturer" ved Universitetet i Birmingham. Han drømte dog om at komme tilbage til Danmark, og denne drøm gik i opfyldelse, da Det Naturvidenskabelige Forskningsråd (i dag Det Frie Forskningsråd

| Natur og Univers) bevilgede ham et såkaldt Rømer-stipendium, som netop var møntet på at trække lovende unge forskere tilbage til Danmark. Han er nu sektionsleder for den zoofysiologiske gruppe på Aarhus Universitet, som anses som et af verdens førende forskningsmiljøer i forståelsen af, hvordan dyr fungerer.

Tobias Wang har gennem, årene modtaget en række bevillinger fra Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers, som har finansieret hovedparten af den forskning, som er beskrevet i denne artikel.

tet under fordøjelse, har imidlertid været genstand for megen debat blandt forskellige forskningsgrupper. Men Tobias' forskningsgruppe har kunnet vise, at tarmens vækst ikke bidrager synderligt, og at mavens syreudskillelse heller ikke spiller en væsentlig rolle. Han har også med sine kolleger målt på de enkelte organers stofskifte under fordøjelse ved hjælp af skanninger med PET (positron emission tomografi) og dermed kunnet vise, at det særligt er tarmens stofskifte, som stiger under fordøjelsen. Det øgede stofskifte skyldes ikke energiomsætning i forbindelse med celledeling eller vækst. Derfor tyder meget på, at det er optagelsen af næringsstoffer over tarmvæggen, der koster. Optagelsen af næringsstoffer sker gennem specifikke transportmolekyler i tarmens celler, og Tobias forskningsgruppe ønsker nu at undersøge disse transportmolekylers aktivitet i større detalje.

Når kroppen snakker uden om hjernen

Den store forøgelse af stofskiftet og den samtidige stigning i tarmens næringsoptag skal naturligvis understøttes af hjertet, så der kommer tilstrækkelige mængder blod til fordøjelsesorganerne. Det er derfor ikke overraskende, at hjertets puls og slagvolumen øges kraftigt under fordøjelse. Også hos mennesket stiger pulsen under fordøjelse, hvilket er en af grundene til, at hjerteanfald optræder oftere efter et stort måltid. Pulsstigningen styres af det autonome nervesystem, som er den del af vores nervesystem, der regulerer de "ubevistede" funktioner i kroppen. Man har ret godt styr på, hvordan dette foregår ved, at nerver fra den forlængede marv (medulla oblongata) sender både hæmmende og stimulerende signaler gennem de forskellige dele af det autonome nervesystem.

Giraffens tårnhøje blodtryk

Tobias har været en af primusmotorerne i det aarhusianske girafprojekt – *The Danish Cardiovascular Giraffe Research Programme* (DaGiR). I dette projekt undersøger en stadig større gruppe forskere, efterhånden fra hele verden, hvordan giraffens kredsløb er tilpasset det meget høje blodtryk, der kræves for at sende blodet helt op til hovedet. Det står nu klart, at blodtrykket ved arteriernes indgang til giraffens hjerne er meget lig det tryk, som findes hos andre pattedyr, inklusiv menneskets. Giraffens høje blodtryk er derfor nødvendigt for at løfte blodet langt over hjertets niveau, når giraffen står med strakt hals.

Som en overraskelse har forskningsgruppen kunnet vise, at giraffens hjerte – modsat hvad der står i de almindelige lærebøger – ikke er større end hjertet hos andre pattedyr, når kropsvægten tages i betragtning. Tvært imod er giraffens hjerte faktisk en smule mindre end hos andre pattedyr, fordi hjertets væg er fortykket og dermed har en mindre radius.

Et andet af de primære formål for DaGiR var at undersøge, hvorfor giraffen ikke får en hjerneblodning, når den sænker hovedet for at drikke. I denne sammenhæng var det vigtigt at kunne indoperere måleudstyr, som kunne opsamle blodtryksdata, mens girafferne selv sænkede hovedet.

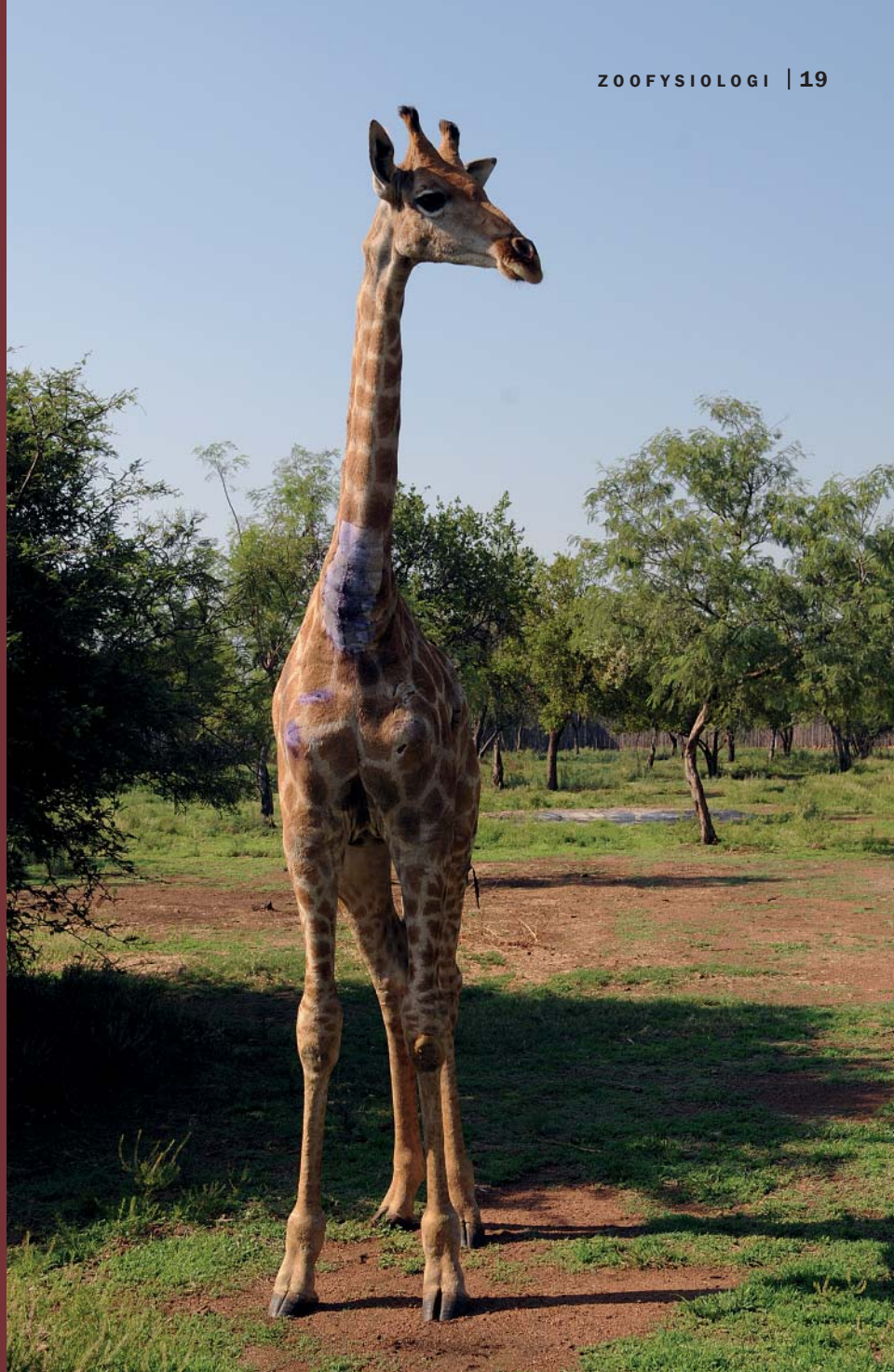


Foto: Tobias Wang

Men hos pytonslangen stiger pulsen også ganske markant, når man eksperimentelt forhindrer denne autonome regulering gennem hjernen. Det tolker Tobias og hans kolleger sådan, at der findes et hormon, altså et signalstof i blodet, der stimulerer hjertet direkte. I tråd med denne fortolkning stiger pulsen da også, når blodplasma fra fordøjende slanger sprøjtes ind i blodårene på fastende slanger. Det er nærliggende, at et sådant hormon udskilles fra fordøjelsesorganerne og afspejler derfor en interessant mulighed for, at kroppens individuelle organer populært sagt snakker sammen udenom hjernen. Man kan altså forestille sig, at tarmen og de andre fordøjelsesorganer udskiller hormoner, som direkte øger pulsen, uden at hjernen deltager i reguleringen og derfor heller ikke kan lukke ned for blodtilførslen. Denne type fysiologisk regulering repræsente-

rer lidt af et paradigmeskift i forståelsen af, hvordan kroppen fungerer. Den traditionelle antagelse er nemlig, at hjernen spiller en central rolle i alle disse ubevidste processer. I de senere år er det imidlertid blevet klart, at de fleste organer faktisk producerer hormoner, hvilket antyder at denne form for kommunikation udenom hjernen kan være mere udtalt end hidtil erkendt – også hos mennesket.

Pytonslangens særlige hjerte

Udover de interessante studier af, hvordan hjertet reguleres via nerve- og hormonsystemet, har Tobias i samarbejde med svenske kolleger vist, at pytonslangens hjerte er specialiseret i forhold til andre slanger og krybdyr med hensyn til, hvordan blodet blandes i hjertet. Hos pattedyr og fugle er hjertekammeret (ventriklen) opdelt i to fuldstændigt adskilte kamre.



Foto: Lye Otani

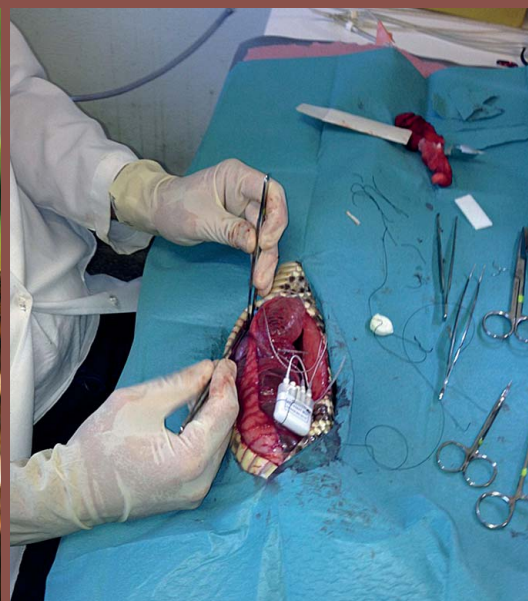


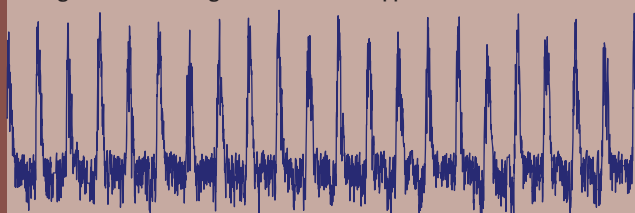
Foto: Cleo Leite

Ny teknologi – nye muligheder

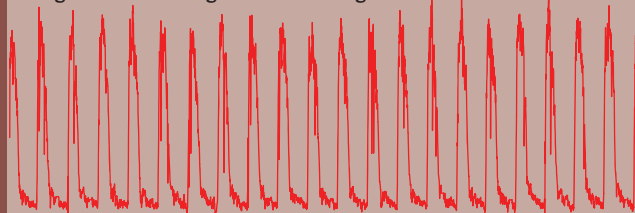
Den teknologiske udvikling, hvor computere, sensorer og batterier bliver stadig mindre, har revolutioneret vores muligheder for at foretage fysiologiske målinger. Det kan nu foregå ved hjælp af små implantater, som opereres ind under huden på dyr, som derefter sættes ud i den fri natur. Når dyrene skal have lov til at opføre sig naturligt, er det vigtigt, at man kan opsamle alle målingerne på dataloggere, som så tømmes, når dyrene fanges igen.

Med eksisterende udstyr er det muligt at måle blodtryk og blodgennemstrømning, men der findes allerede sensorer, der tillader måling af ilt, mælkesyre og pH, så indenfor kort tid, vil det være muligt at udføre mange samtidige målinger, der danner et ret komplet billede af dyrenes fysiologi. Et eksempel på målinger ses her →

Blodgennemstrømningen i den ene af kroppens to store arterier



Blodgennemstrømningen i den ene lungearterie



Det betyder, at det iltfattige blod fra kroppen ikke blandes med det iltrige blod fra lungerne. Hos krybdyr og padder er de to sider af hjertekammeret derimod ikke anatomisk opdelt, hvorved det iltede og det iltfattige blod kan blandes indeni hjertet, inden det løber ud i kroppen eller til lungerne.

Pytonslangens hjerte adskiller sig anatomisk en smule fra andre slangehjerter, men det er en lille forskel med stor fysiologisk betydning, idet der stort set ikke sker blanding af blodet i pytonslangens hjerte. Det giver en mere effektiv iltransport og tillader desuden, at pytonslangerne kan lave et meget højt blodtryk i kroppens arterier, mens lungerne modtager et lavt tryk, som vi også finder det hos mennesker. Netop et højt blodtryk lader til at korrelere med stofskifte. Det er således helt tydeligt, at fugle og pattedyr, som jo netop har et meget højt stofskifte, fordi de er varmblodede, har et højere blodtryk end de koldblodede krybdyr. Dog er relationen mellem tryk og stofskifte ikke så entydig hos pytonslangerne, da deres stofskiftetegn

under fordøjelse ikke overstiger de andre kvælerslanger, som også spiser store måltider. Tobias har derfor været interesseret i, om det høje tryk kunne være en tilpasning, der sikrer hjernens blodtilførsel, når pytonslangen rejser hovedet. Men det er næppe tilfældet, da andre lange slanger med en tilsvarende adfærd som anakondaer ikke har et funktionelt opdelt hjerte som pytonen. For tiden prøver Tobias at undersøge, om det opdelt hjerte hænger sammen med pytonslangernes unikke evne til at øge stofskiftet, når de lægger sig rundt omkring æggene og nærmest ruger dem ud som en fugl.

En udfordring ved den slags undersøgelser er imidlertid, at man ikke ved meget om, hvordan pytonslangens kredsløb reguleres og ændres under spontan adfærd i naturlige omgivelser.

Fra laboratoriet til den vilde natur

Netop den udfordring vil Tobias og kolleger nu tackle ved at flytte de fysiologiske undersøgelser ud af laboratoriet.

Grunden til, at man normalt udfører fysiologiske undersøgelser på i laboratoriet, er, at man her kan kontrollere og regulere forhold som ernæringstilstand, temperatur, luftfugtighed og andre ydre miljøfaktorer. Og det gør det lettere at fortolke de data, man opnår gennem målinger. Man søger desuden ofte at skærme dyrene mod forstyrrelser, da stress eller bare uro påvirker fysiologien.

Et grundlæggende problem med laboratorieforsøg er dog, at dyrene undersøges under forhold, der ikke har meget at gøre med den virkelighed, dyrene normalt oplever, og hvor den naturlige selektion udspiller sig. For at frigøre forsøgene på slanger fra laboratoriet trækker Tobias' forskningsgruppe på de erfaringer, han høstede under studier af giraffer. Til de undersøgelser havde forskerne udviklet sensorer, der blev indopereret i girafferne og løbende målte kropstemperatur og blodtryk, mens de bevægede sig frit omkring i en indhegning. Data fra sensorerne blev opsamlet i en datalogger og blev derfra sendt til en basisstation, der kunne modtage signalerne i en afstand op til 10 meter.

I samarbejde med brasilianske kolleger indsætter Tobias nu dataloggerne i klapperslanger, som udsættes i indhegninger med naturlige lys- og temperaturforhold, og han er involveret i et lignende samarbejde om krokodillernes kredsløb i Sydafrika. Disse studier giver verdens første langtidsmålinger af hjerte-kar-systemets funktion i noget kryb-



DET FRIE FORSKNINGSRÅD
DANISH COUNCIL FOR
INDEPENDENT RESEARCH

Artiklen bringes i samarbejde med Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers.
Det Frie Forskningsråd dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år knap 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Det Frie Forskningsråd består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence.

dyr, og det vil gøre det muligt at evaluere vekselvirkningen mellem ændringen i kropstemperatur og hjerte-kar-systemet under fordøjelsen. Men Tobias har ikke tænkt sig at stoppe her. Der udvikles nemlig til stadighed nye og bedre sensorer, som tillader stadigt flere fysiologiske målinger på fritlevende dyr. Fx regner Tobias med at kunne måle blodets iltindhold i løbet af de kommende år, og dermed vil man kunne beregne, hvordan det iltrige og iltfattige blod blandes i hjertet, mens dyrene fordøjer, jager eller hviler i solen for at øge kropstemperaturen. Tobias' vision er, at han indenfor det kommende årti vil kunne flytte mange af sine nuværende laboratorieforsøg til felten. Dermed vil han være med til at lægge grunden for en meget bedre mekanistisk forståelse af, hvordan dyr fungerer under helt naturlige forhold. ■

Videre læsning:

Tobias Wang m. fl: Grov-æderens tarm. *Aktuel Naturvidenskab* 4/2002.

Tobias Wang: Krybdyrenes halve hjerte og kredsløbets udvikling. I 25 Søforklaringer, Aarhus Universitetsforlag 2014.

Videoklip m. Tobias Wang: www.youtube.com/watch?v=-LOumQigoU

De bedste uddannelser til de bedste studerende

Naturvidenskab på Syddansk Universitet



Vi holder Åbent Hus for dig
27. februar 2016, kl. 11-15
Læs mere på sdu.dk/Brobygning

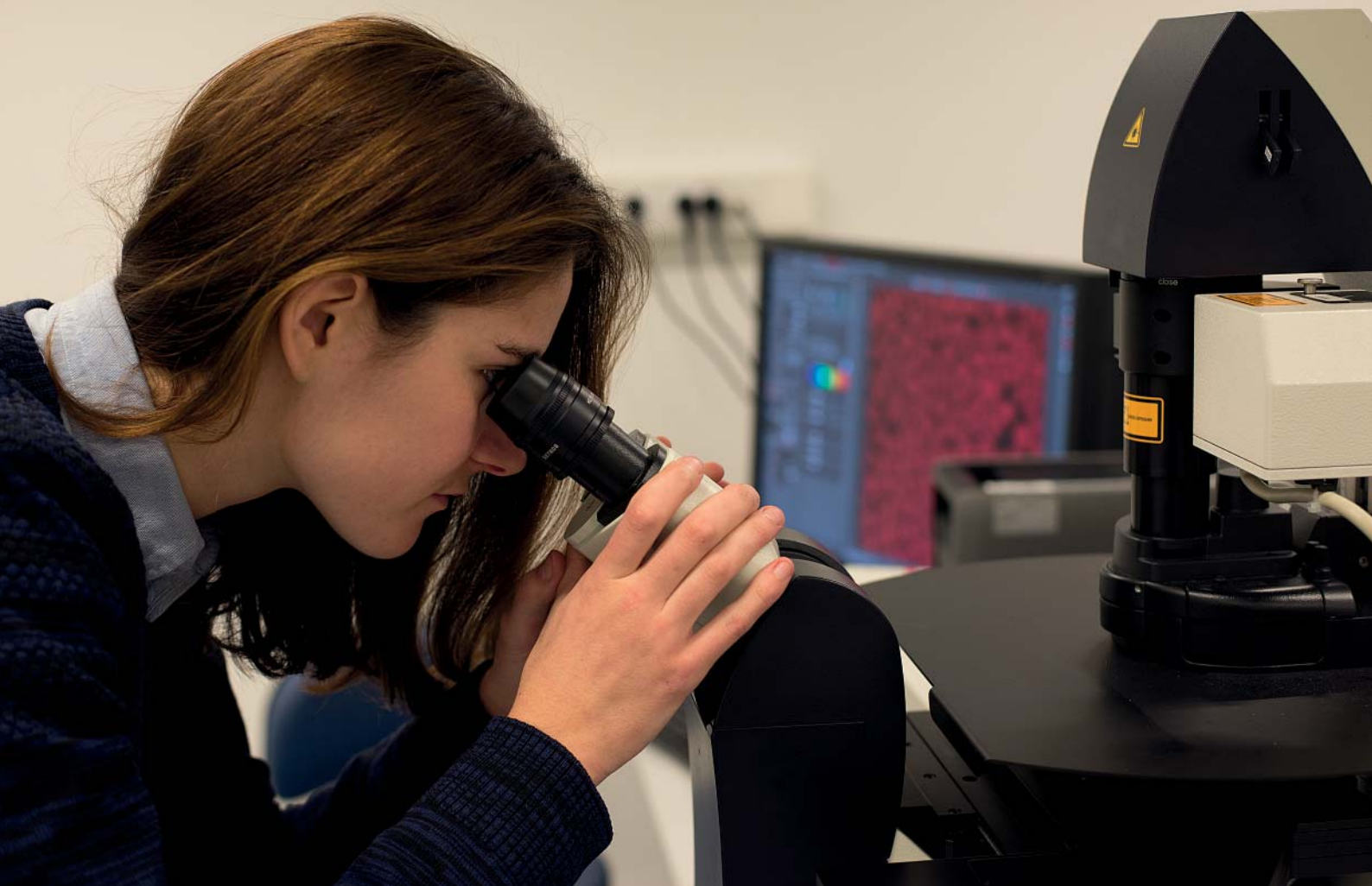


Foto: Mathias Porsmose Clausen

Om forfatterne



Morten Christensen er postdoc i biofysik
morten.christensen@sdu.dk



Mathias P. Clausen er postdoc i biofysik
mpc@sdu.dk



Ole G. Mouritsen er dr. scient. og professor i biofysik. Leder af centrene MEMPHYS og Smag for Livet.
ogm@memphys.sdu.dk

Alle er ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet og deltager i det nationale center Smag for Livet, støttet af Nordea-fonden.

Se ind i maden

Med de nyeste mikroskopiteknikker er det nu muligt at “se” ind i maden og visualisere, hvordan vand, fedtstoffer, proteiner og kulhydrater er placeret i forhold til hinanden, fx i mayonnaise, ost, flødeskum, marengs og smør. Det giver os mulighed for bedre at forstå madens struktur, som er afgørende for smagsoplevelsen.

Når vi beskriver madens smag, er det ofte en skøn blanding af indtryk fra alle vores fem sanser: at se, at høre, at smage, at lugte og at føle. Lugtesansen er normalt mest dominerende, især stimuleret af aromastoffer, som blæses fra munden ud gennem næsen. Af de fem sanser er følesansen måske den mest upåagtede, og vi bliver mest opmærksom på dens betydning, hvis den ikke er som forventet. Fx hvis vi oplever et surmælksprodukt, som er grynet i stedet for cremet, eller en kartoffelchip, som er blød i stedet for sprød.

Udtryk som grynet, blød, sprød, cremet, våd, tør, melet, fedtet, tyk, tynd, plastisk, elastisk, viskøs, klæg, prikkende, slimet osv. er mere eller mindre veldefinerede udtryk, vi bruger om, hvordan maden føles i munden, altså *mundfølelsen*. Disse sanseindtryk af maden er relateret til, hvordan vi sanser man-

dens *struktur*. Inden for de videnskaber, som beskæftiger sig med, hvordan vi sanser maden, kaldes mundfølelse for *tekstur*. Tekstur er den del af madens struktur, som mundens følenerver kan erkende.

Med de nyeste og mest avancerede mikroskopiteknikker er det nu blevet muligt i stor detalje og som funktion af tiden at visualisere aspekter af madens struktur, både flydende, halvfast og fast mad. Analyser af strukturen gør det muligt at se nye sammenhænge mellem struktur og tekstur og dermed opnå dybere forståelse af, hvordan denne sammenhæng giver maden smag.

Hvad er mad?

Alt, hvad vi spiser, er af biologisk oprindelse, og maden er derfor sat sammen af de samme byggesten som levende organismer, dvs. især kulhydrater,

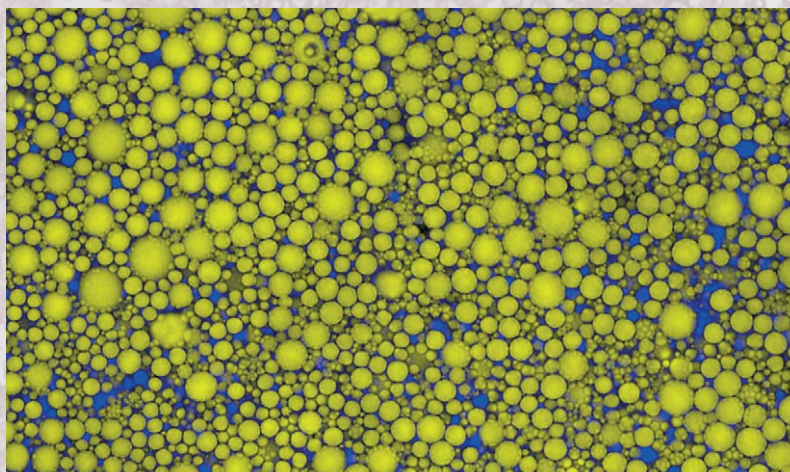
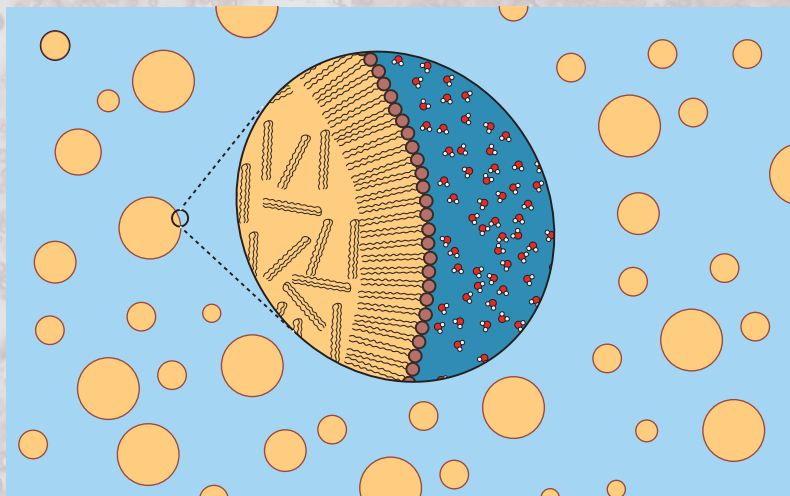
Emulsioner: at binde olie og vand sammen med emulgatorer

En emulsion er en blanding (dispersion) af to væsker, specielt vand og olie. Olie og vand blander ikke af sig selv, og når man ryster dem sammen, skiller de to væsker hurtigt fra hinanden igen med den lettere olie oven på vandet. Det er muligt ved hjælp af såkaldte emulgatorer at få olie og vand til at forene sig, fx med små vanddråber inden i en sammenhængende fase af olie (vand-i-olie-emulsion, fx smør eller margarine) eller med små oliedråber inden i en sammenhængende fase af vand (olie-i-vand-emulsion, fx mayonnaise og andre saucer).

En emulgator er et amfifilt stof, dvs. et stof, som i den ene ende kan opløses i vand og i den anden ende opløses i olie. Det kan fx være lecitin fra æggeblomme (som bruges i mayonnaise) eller glykoprotein fra skallerne på sennepsfrø (som bruges i vinaigrette).

I en emulsion er grænsefladen mellem olie og vand dækket af emulgatormolekyler, der vender deres hydrofobe del ind mod oliedråben og den hydrofile del ud mod vandfasen. Da overfladens areal har et forsvindende mål i forhold til emulsionens volumen, skal der kun meget små mængder af emulgator til at stabilisere emulsionen (fx en knivspids æggeblomme til at lave en mayonnaise).

Mayonnaise: Mikroskopibillede (CARS) af mayonnaise, som er en olie-i-vand-emulsion. De runde kugler er oliedråber, som typisk er 2-5 mikrometer i størrelse, og de blå områder mellem oliedråberne er vand.



fedtstoffer og proteiner. Desuden er der masser af vand, og det er ofte spillet mellem vandets aktivitet og disse byggesten, som er bestemmende for madens struktur, og hvordan den ændres i køkkenet, og når vi spiser maden.

Mad kan deles ind i tre forskellige grupper: (1) *“naturlig” mad* i den forstand, at vi på madens udseende nemt kan se, hvor råvarerne kommer fra (fx stegt kylling, kogte grøntsager og dampet fisk), (2) *formuleret mad*, dvs. mad, som er så stærkt forarbejdet, at man ikke uden forhåndskendskab kan afgøre, hvilke råvarer den kommer fra (fx ketchup, ost, sauce, juice, rørag og brød), og (3) *syntetisk mad*, som er mad, der er konstrueret ved at kombinere de rene byggesten kulhydrater, proteiner, fedtstoffer og vand. Det nyeste skud på stammen af det molekylære køkken, kaldet note-by-note cuisine,

beskæftiger sig netop med syntetisk mad.

Den store udfordring med især formuleret og syntetisk mad er at kunne kontrollere og tilføje en mundfølelse, som gør maden interessant og velsmagende. At kunne se ind i maden er en videnskabelig og fysisk måde at tage denne udfordring op. Den slags tilgang til mad, smag og gastronomi har nu fået navnet gastrofysik.

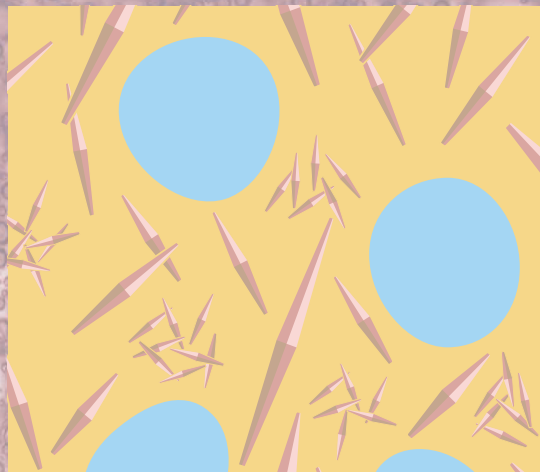
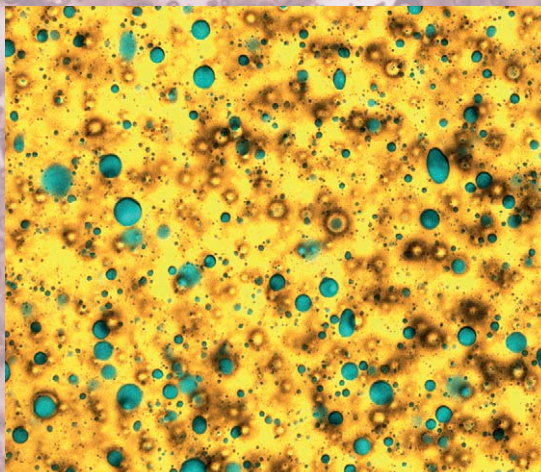
Formuleret mad

De fleste tænker næppe meget over, at dagligdags madvarer som brød, mejeriprodukter og saucer er stærkt forarbejdede produkter, og uden at kende baggrunden kan man næppe gætte, at brød kommer fra frø på kornplanter, at osten er skabt af mælk fra pattedyr, eller at en sauce er en kompleks blanding af vand og forskellige, stærkt forarbejdede råvarer. Alle disse produkter er formulerede, bløde materia-

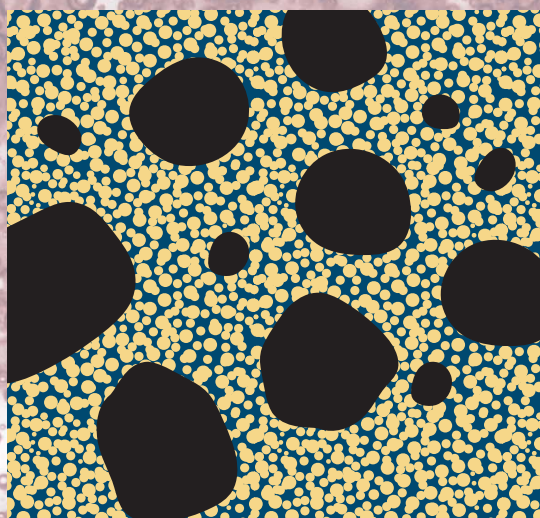
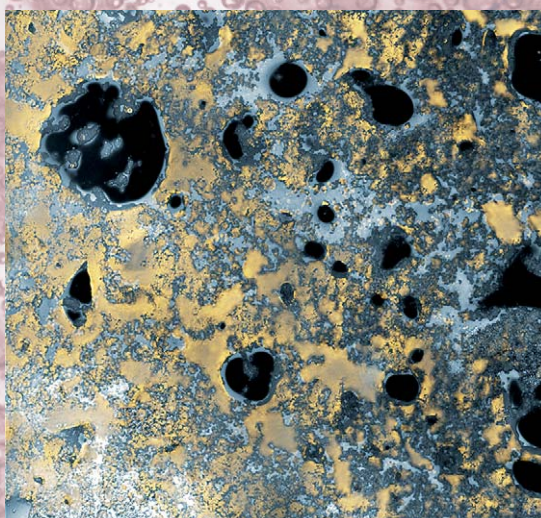
Mikroskopibilleder:
Mathias Porsmose Clausen og
Morten Christensen

Grafiske illustrationer:
Morten Christensen og Jonas
Drotner Mouritsen

Smør: Til venstre mikroskopibillede (CARS) og til højre skematisk illustration af smør. Det gule er fedtstof, og de blå dråber er vand. Fedtstoffet er delvis krystallinsk og halvfast. Vanddråberne har en størrelse, der ligger mellem 0,1 og 10 mikrometer.



Flødeskum: Til venstre mikroskopibillede (CARS) af flødeskum og til højre skematisk illustration af strukturen inden i flødeskum. De store, mørke bobler i strukturen er luft, og væggene mellem boblerne består overvejende af fedtstof. Luftboblerne er typisk 10-100 mikrometer store.

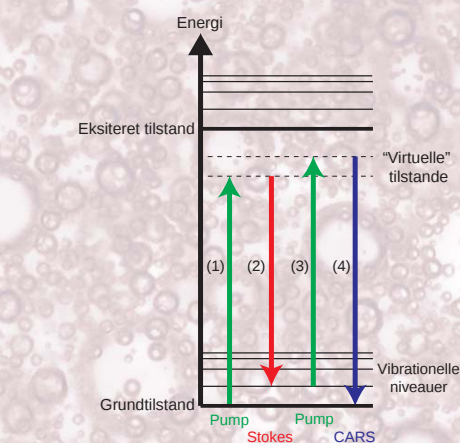


Sådan virker CARS-mikroskopi

CARS-mikroskopi (coherent anti-Stokes Raman scattering) er en type mikroskopi, der adskiller sig fra andre typer af avanceret mikroskopi ved ikke at kræve mærkning af prøven med et farvestof. Det har nogle åbenlyse fordele, idet man undgår blegning af farvestoffet og uønskede kemiske ændringer af prøven. Desuden spares tid i prøveforberedelsen.

CARS-mikroskopi udnytter de spektroskopiske egenskaber af prøven. Man afbilder vibrationsniveauer af kemiske bindinger, og det er derved molekylerne selv, der giver kontrast i billedet. Afbildningen sker rent praktisk ved samtidigt at scanne to infrarøde lasere, kaldet hhv. pumpe- og Stokes-lasere, hen over prøven.

Pumpe-lasere exciterer en binding fra det laveste vibrationsniveau i grundtilstanden til en såkaldt virtuel energitilstand (1) (med lavere energi end den 1. exciterede tilstand, hvortil elektroner exciteres i fluorescensmikroskopi). Under virkning af Stokes-lasere henfalder elektronerne atter til grundtilstanden, men til et højere vibrationsniveau end tidligere (2). Pumpe-lasere exciterer igen elektronerne til en ny virtuel energitilstand med højere energi end den første virtuelle energitilstand (3). Fra dette energiniveau henfalder elektronerne spontant til det laveste vibrationsniveau i grundtilstanden, hvor-



ved der udsendes en lys-foton (4). Lys-fotonen er mere energirig end de absorberede fotoner, og lyset er derfor mere blåt end det indsendte lys.

Forskellige kemiske bindinger har forskellige vibrationsenergier, og man tuner derfor pumpe-lasere, så energiforskellen mellem denne og Stokes-lasere passer til den binding, som er karakteristisk for den type stof, man vil se på. På den måde kan man tune laseren til at synliggøre fx vand, fedt og protein, da de svarer til forskellige, karakteristiske kemiske bindingsvibrationer.



FLYTVERDEN.DK

FLYT VERDEN FRA VIDENSKAB TIL VÆKST

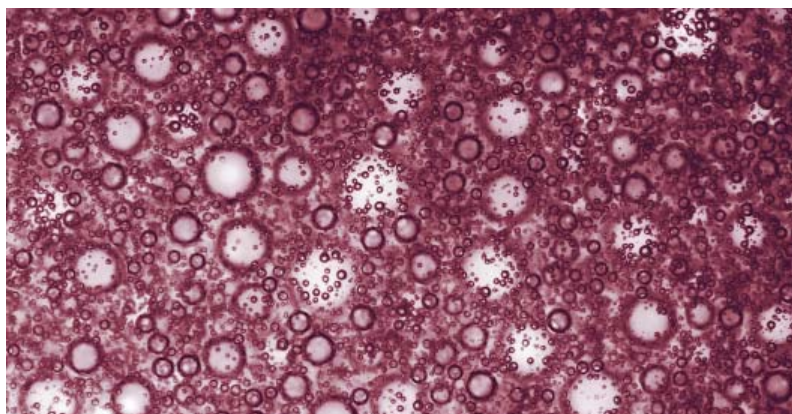
KEMI

**FÅ VIDEN OM OG REDSKABER TIL HVORDAN MAN UDNYTTER MOLEKYLÆR
VIDEN TIL AT DESIGNE NYE PROCESSER OG MATERIALER.**

PÅ UDDANNELSEN I KEMI LÆRER MAN OM MOLEKYLER OG DERES
INDBYRDES VEKSELVIRKNINGER FOR AT KUNNE FORSTÅ
KOMPLEKSE MATERIALER.



AALBORG UNIVERSITET



Marengs: Mikroskopi-billede (CARS) af pisket æggehvide og sukker (marengs). De lyse områder er luftbobler, hvoraf de største er omkring 80 mikrometer store.

ler, hvis struktur er bestemt af både de oprindelige råvarers egenskaber samt af de behandlinger, råvarerne har gennemgået på fabrik eller i køkken. Produkternes mundfølelse og smag er direkte forbundet med materialernes struktur.

Lad os rette mikroskopet mod nogle af disse fødevarer og se, hvilke hemmeligheder de bærer på.

Olie-i-vand emulsion: mayonnaise

Mayonnaise er en emulgeret, kold sauce, som laves af en blanding af vegetabilsk olie og citronsaft (eller vineddike), der er emulgeret med æggeblomme og smagt til med salt, peber og eventuelt krydderier. Man kan også emulgere ved hjælp af sennep. Mayonnaisen fremstilles ved at blende æggeblomme og citronsaft (eller vineddike) sammen med emulgatoren, hvorefter olien tilsættes langsomt under omrøring; i begyndelsen blot en dråbe ad gangen. Mayonnaisen skiller, hvis olien tilsættes for hurtigt, eller der er for lidt vand. I en god mayonnaise er de små oliedråber så tæt på hinanden, at de giver emulsionen en fasthed og en let elastisk mundfølelse.

De mange små oliedråber i mayonnaisen kan let glide forbi hinanden, og det er denne kugleleje-effekt, der gør, at en mayonnaise føles cremet. Samtidig giver pakningen af dråberne mayonnaisen en vis stivhed, som bevirker, at den kan stå og kun flyder trægt.

Vand-i-olie emulsion: smør og margarine

I mælk og fløde findes fedtstoffet i små fedtkugler, som holdes sammen af en membran af lipider og proteiner, der forhindrer, at fedtkuglerne løber sammen. Når man fremstiller smør, slår man i princippet disse membraner i stykker ved mekanisk omrøring (kærning), så fedtkuglerne samles i en fase af fedt med vanddråber inde i. At lave smør består altså stort set i at krænge vrangen ud på mælken forstået på den måde, at vi begynder med en olie-i-vand-emulsion (mælk og fløde) og ender med en vand-i-olie-emulsion (smør). I denne emulsion findes mælkefedtet på tre former: som frit og halvfast mælkefedt, der danner en sammenhængende fase, som krystalliseret mælkefedt og som ubrudte fedtkugler. Inden i denne komplekse blanding findes vanddråber af forskellig størrelse. Det krystalliserede mælkefedt

giver smørret sin fasthed ved stuetemperatur, og den sammenhængende fase af halvfast fedt giver smørrets gode evne til netop at "smøre". Margarine er ligesom smør en vand-i-olie-emulsion, men hvor der typisk bruges planteolier og forskellige emulgatorer.

Skum: flødeskum og marengs

Et skum er en væske, som er gjort stiv ved at indbygge luftbobler i væsken. Det kræver normalt et større piskearbejde at få luftbobler ind i en væske, og det kan være en kamp med tiden om at få de dannede bobler pisket i endnu mindre bobler, inden boblerne brister eller løber sammen. Da lufttrykket inde i små bobler er større end i store, er der en tendens til, at de små bobler brister og slutter sig sammen i større bobler, hvorved skummet ændrer tekstur.

Fordi luftboblerne i et skum ikke så let kan komme forbi hinanden uden at briste og væsken derfor ikke så let kan flyde, kan skummet "stå" og udøve en vis modstand mod påvirkning af fx en ske eller ved pres mellem tunge og gane. Efterhånden som væsken dræner fra, bliver skummet mere skørt, boblerne brister, og skummet falder sammen. Almindelige eksempler på skum er flødeskum og ølskum. Det er samspillet mellem antallet af luftbobler og deres størrelse på den ene side og stivheden af væsken på den anden side, som afgør, hvilken mundfølelse man oplever i et skum. Nogle kan være meget bløde og eftergivende, mens andre kan være sprøde og skøre, og andre igen meget faste.

Der findes skum med tynde vægge mellem luftboblerne (fx ølskum) og nogle med tykke vægge (fx flødeskum). Flødeskum er mere kompliceret end mange andre slags skum, fordi det i princippet er et hårdt pakket netværk af luftbobler, som holdes sammen af små fedtkugler, der lægger sig på overfladen af luftboblerne. Flødeskum kan blive stiv som et fast stof. Da det er fedstoffet, som holder skummet sammen, er det kun muligt at lave et stabilt flødeskum, hvis fedtprocenten i fløden er høj nok, mindst 30 % og helst mere.

En marengs er et skum af luftbobler adskilt af tynde hinder af en væske bestående af æggehvide med opløst sukker. Æggehvide består af 87 % vand. Jo mere sukker, der er i, og jo mere af vandet, der er dampet af, jo fastere bliver marengsen. Ved opvarmning (bagning) damper det meste af vandet af, og sukkeret danner en glas. Skummet er nu blevet til en tør marengs, fx en macaron.

Netværk af proteiner: Ost

Mælk er en væske, som har en kompliceret indre struktur, der bestemmer mælkenes mundfølelse som drikkevarer og er afgørende for egenskaberne af de mejeriprodukter, som den bruges til, fx fløde, ost, yoghurt og andre syrnede eller fermenterede produkter.

Vil du vide mere:
Mere om centret Smag for Livet:
www.smagforlivet.dk

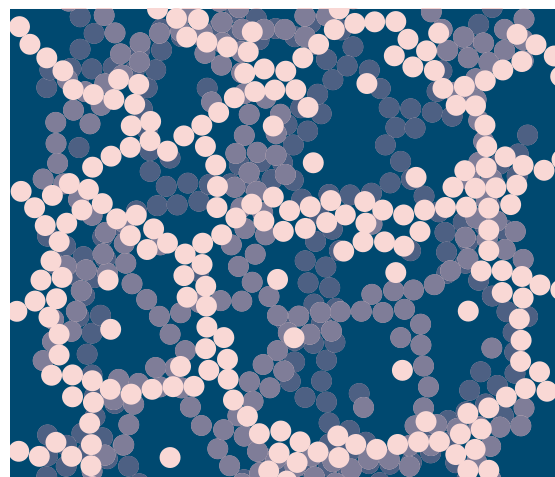
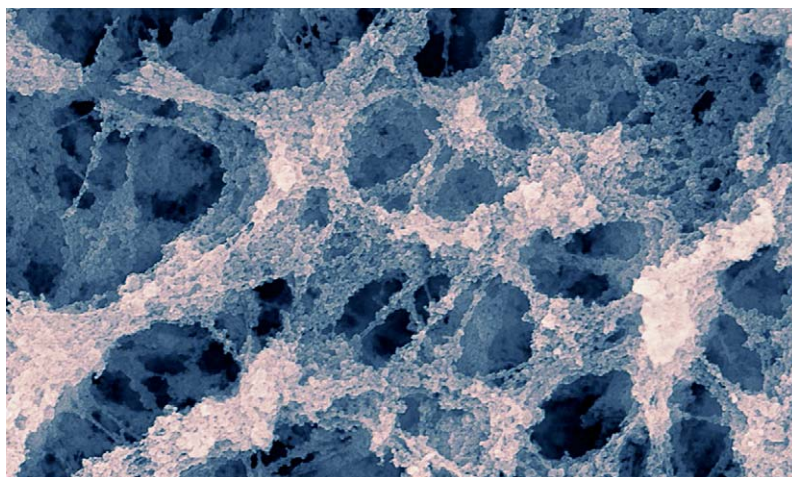
Bourne, M. 2002. Food Texture and Viscosity. Academic Press, London.

Clausen MP & J. Dreier. 2014. Nanoskopi – en verden af billeder. Aktuell Naturvidenskab 5, 18-22.

<https://da.wikipedia.org/wiki/Gastrofysik>

Mouritsen OG & J Risbo (eds.) 2015. The Emerging Science of Gastrophysics. SMAG #4, www.smagforlivet.dk/artikler/smag04-emerging-science-gastrophysics.

Mouritsen og K. Styrbæk. 2015. Fornemmelse for smag. Nyt Nordisk Forlag, København.



Ost: Til venstre et elektronmikroskopisk billede af en ostemasse, som er dannet ved, at kaseinmicellerne i mælk koagulerer i et netværk under indvirkning af osteløbe. Til højre en illustration af dette netværk. I netværkets hulrum, som typisk er 2-5 mikrometer i udstrækning, er der plads til kugler af mælkefedt.

Der findes en lang række måder at lave oste på, og de forskellige oste adskiller sig i høj grad ved smag og mundfølelse. Og det er ikke kun hullerne i osten, som gør forskellen. En fast ost har en struktur, der er bestemt af et netværk af koaguleret mælkeprotein (kasein), hvori der er bundet vand og kugler af mælkefedt. At se ind i en ost på lille skala er som at se ind et porøst materiale med vægge på kryds og tværs, og mellem væggene ligger vand og fedtstof.

Hvad kan det bruges til?

Der er lavet forbavsende lidt arbejde på en kvantitativ beskrivelse af fødevarer på en lille skala, hvor

madens forskellige komponenter af kulhydrater, fedtstoffer og proteiner kan skelnes. Årsagen her- til er primært, at det har krævet udvikling af nye mikroskopiteknikker. De nye typer af avanceret mikroskopi åbner nu et helt nyt vindue til at se ind i maden, og den videre udvikling vil også gøre det muligt at se, hvordan madens struktur ændres som funktion af tiden (ved bearbejdning, lagring, osv.) og som funktion af de behandlinger (kogekunst), man underkaster den. En dybere forståelse af, hvad der giver maden struktur, vil også give en større indsigt i, hvad der giver maden mundfølelse (tekstur) og dermed smag. ■



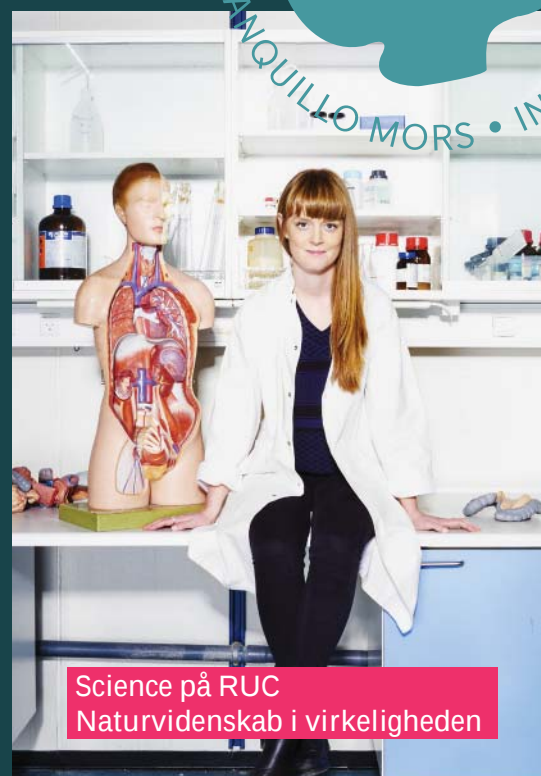
Ses vi til NAT-DAG på RUC onsdag d. 2. marts 2016 ?

Her inviterer vi igen gymnasier, HF og HTX indenfor til en dag med naturvidenskab.

På Nat-dagen kan du og dine elever opleve spændende foredrag, deltage i eksperimenter i vores nye laboratoriebygning og diskutere naturvidenskabelige problemstillinger med forskere og studerende.

Læs mere på: nat-dag.ruc.dk

Fagligt
Udviklende
Karrierefremmende



Science på RUC
Naturvidenskab i virkeligheden

DNA-kopiering

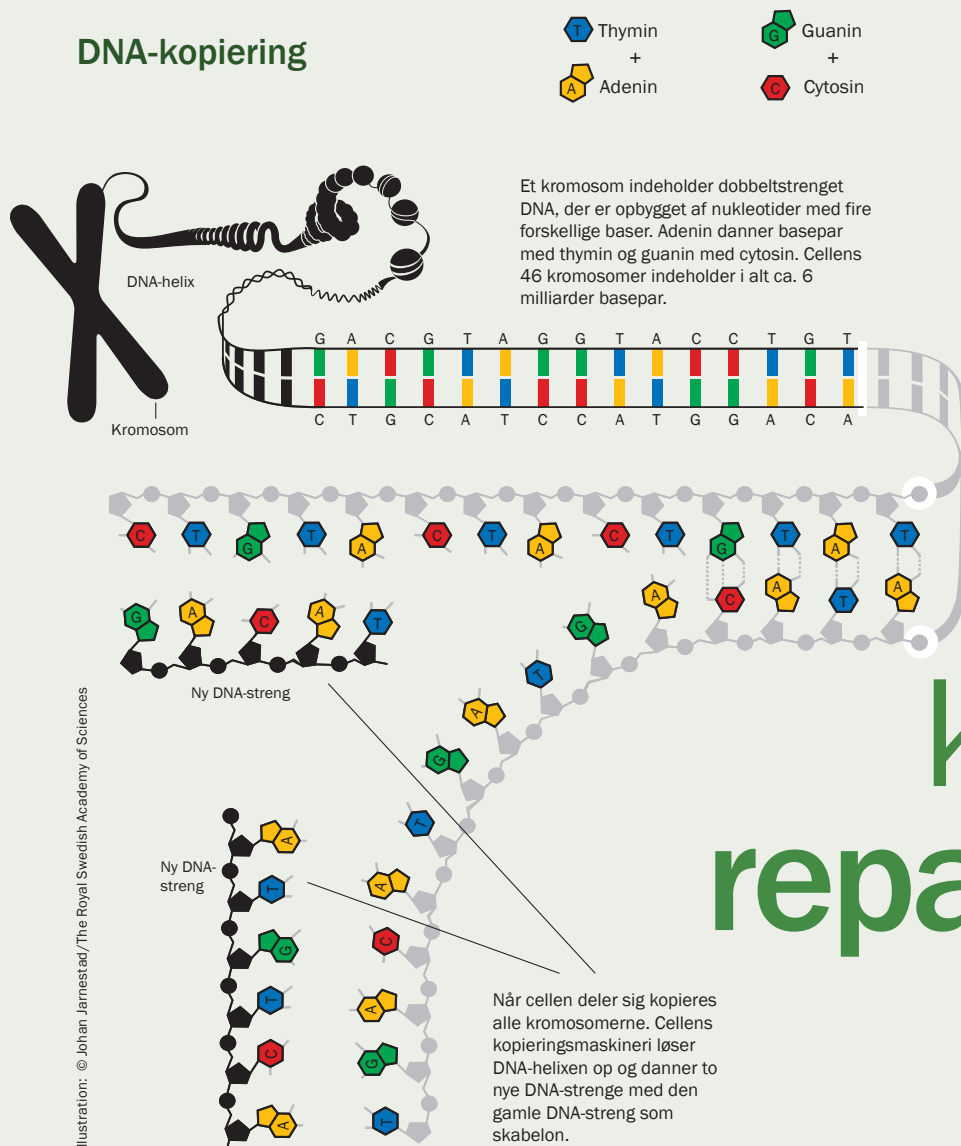


Illustration: © Johan Järnstedt/The Royal Swedish Academy of Sciences

Nobelprisen i 2015 blev givet til tre forskere, der har opdaget livsvigtige mekanismer i cellerne, der reparerer DNA, når det bliver beskadiget. En nærmere forståelse af disse mekanismer kan være nøglen til at forbedre behandlingen af en række sygdomme, der ofte opstår med alderen.

Når kroppen reparerer DNA

Forfatterne



Sofie Hindkjær Laurrup er ph.d.-studerende
laurrup@au.dk



Tinna Stevnsner er lektor
tvs@mbg.au.dk

Begge ved
Dansk Center for
Molekylær Gerontologi,
Dansk Center for Aldrings-
forskning, Institut for
Molekylærbiologi og
Genetik
Aarhus Universitet

I løbet af et normalt menneskeliv, vil vores krop blive udsat for et utal af skader, som kan være alt fra små rifter til brækkede lemmer. For at kroppen skal kunne fungere optimalt, er det vigtigt, at de mangartede skader bliver repareret bedst muligt. En brækket arm eller et sår heler heldigvis normalt op før eller siden. Men en stor del af kroppens reparationsarbejde foregår i virkeligheden skjult for vores øjne på molekylært niveau i kroppens enkelte celler. Mange af cellens molekyler, eksempelvis proteinerne, kan i stor udstrækning blot erstattes af nye, når gamle og slidte proteiner ikke længere fungerer. Men det forholder sig helt anderledes med cellens arvemateriale, DNA'et. Det kan man ikke bare skifte ud, og derfor er det helt essentielt, at DNA kan repareres, når det bliver skadet, hvilket sker hele tiden. Nobelprisen i Kemi blev i 2015 givet til tre forskere, Tomas Lindahl, Aziz Sancar og Paul Modrich, som hver især har bidraget væsentligt til forståelsen af de livsvigtige DNA-reparationsmekanismer, som vi ikke kan overleve uden.

Reparation af DNA er essentielt for overlevelse

Vores DNA udsættes konstant for forskellige typer af skadende faktorer. Det kan være udefrakommende faktorer som UV-stråling fra Solen, skadelige stoffer i cigaretrøg, visse fødevarer eller forurenende partikler i luften. Men det kan også være faktorer, der dannes inde i cellerne som frie radikaler, der er meget reaktive iltforbindelser. De produceres bl.a. i cellens små "kraftværker", mitokondrierne, og er altså et slags biprodukt af cellens almindelige stofskifte. Afhængig af, hvilke faktorer der angriber vores DNA, vil en eller flere typer af skader kunne opstå. Skader i DNA'et kan resultere i, at der dannes mutationer eller fejl i vores gener. Afhængig af præcist, hvor skaden sidder, kan det ende med, at cellen ikke længere kan dele sig, når det er nødvendigt, og i stedet dør. I andre tilfælde kan fejlene ramme gener, som normalt begrænser celledelingsaktiviteten. Hvis sådanne skader ikke repareres, kan cellen udvikle sig til en kræft-

celle. Det er derfor meget vigtigt, at vores DNA bliver repareret, så skaderne og fejlene bliver fjernet. Det har vist sig, at cellerne har en større værktøjskasse, som kan hjælpe med at forebygge og reparere DNA-skader.

Langt de fleste DNA-skader reparerer ved hjælp af tre mekanismer, som oprindeligt blev opdaget og beskrevet af de tre nobelprismodtagere. Disse tre livsvigtige mekanismer kaldes henholdsvis Base Excisions Reparation, Nukleotid Excisions Reparation og Mismatch Reparation (se boks næste side).

DNA-reparation og sygdom

Efterhånden som vi ældes, sker der en ophobning af reaktive iltmolekyler i hjernen, og disse bidrager med stor sandsynlighed til hjernens aldring. Men det har vist sig, at patienter med Alzheimers sygdom har et endnu højere niveau af reaktive iltmolekyler i hjernen end raske individer på samme alder. Derfor er man nu i gang med at undersøge, hvorvidt det høje niveau af reaktivt ilt bidrager væsentligt til sygdomsudviklingen. Nyere forskning tyder ydermere på, at aktiviteten af mekanismen Base Excisions Reparation er nedsat i hjernen hos ældre, men igen ser den ud til at være yderligere nedsat hos Alzheimers-patienter. Det skyldes måske, at patienter med Alzheimers sygdom også har lavere mængder af et af de proteiner, som deltager i denne proces, nemlig DNA-Polymerase β . Endelig ser det ud til, at bestemte varianter af nogle af proteinerne involveret i Base Excisions Reparation giver dårligere kognitiv kapacitet hos ældre personer.

Hos folk, som har relativt lav aktivitet af mekanismen Nukleotid Excisions Reparation i deres celler, ses der en stor stigning af ophobede skader i deres DNA, og de har desuden en forøget risiko for at udvikle kræft, hvis de udsættes for nogle af de faktorer, som normalt reparerer af denne mekanisme. Patienter, der lider af den arvelige, men heldigvis ret sjældne sygdom *Xeroderma pigmentosum*, mangler eller har stærkt nedsat funktion af Nukleotid Excisions Reparation. Disse patienter er ekstremt følsomme over for Solens UV-lys, og hvis de udsættes for solens lys har de flere tusinde gange højere risiko for at udvikle bl.a. hudkræft, når man sammenligner med normale mennesker. Der findes desværre endnu ingen mulighed for at behandle denne sygdom, så i stedet må patienterne undgå at blive udsat for sollys og andre DNA-skadende faktorer, hvilket gør deres liv særdeles besværligt.

Defekt i Mismatch Reparations-systemet leder til meget høj genetisk ustabilitet og øget antal mutationer. En særlig form for tarmkræft, *arvelig nonpolyposis tyk- og endetarmskræft* (HNPCC) skyldes meget ofte mutationer i dele af dette reparationssystem. HNPCC karakteriseres ved, at patienterne udvikler denne type tarmkræft i en relativt ung alder sam-



Aktiviteten af mekanismen *Base Excisions Reparation* er nedsat i hjernen hos ældre, men den ser ud til at være yderligere nedsat hos Alzheimers-patienter.

Nobelprismodtagerne

Nobelprismodtagerne i kemi 2015 har alle tre gjort meget vigtige observationer, der har været med til at klarlægge nogle af de essentielle DNA-reparationsmekanismer.

I 1970'erne viste Tomas Lindahl (f. 1938 i Sverige), at DNA ikke er så stabilt et molekyle, som man tidligere havde troet. Han viste, at der opstår forandringer i DNA'et med så stor hastighed, at liv ville være umuligt, medmindre en ukendt mekanisme kunne bidrage til at bevare DNA'et intakt. Lindahls observationer ledte til opdagelsen af en DNA-reparationsmekanisme, som han kaldte Base Excisions Reparation. Tomas Lindahl var bl.a. med til at identificere proteiner kaldet DNA-glykosylaser, som er vigtige for de første trin i denne mekanisme.



Tomas Lindahl

Foto: Cancer research UK

Aziz Sancar (f. 1946 i Tyrkiet) beskrev mekanismen Nukleotid Excisions Reparation, som cellerne bl.a. bruger til at reparere de skader, der opstår i DNA'et, når det udsættes for Solens UV-stråler eller andre faktorer, som ændrer på DNA'ets struktur.



Aziz Sancar

Foto: M. Englund, UNC-School of Medicine

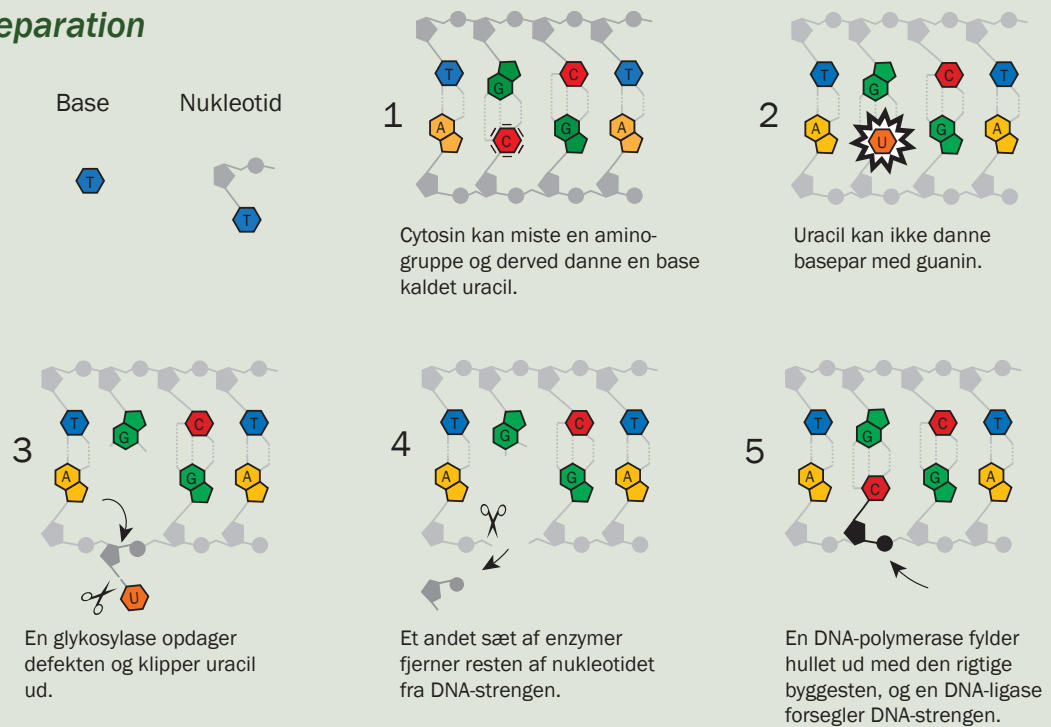
Paul Modrich (f. 1946 i USA) demonstrerede, hvordan cellen retter de fejl, der opstår når DNA'et bliver kopieret i forbindelse med, at cellen deler sig. Denne mekanisme kaldes Mismatch Reparation.



Paul Modrich

Foto: HHMI, Duke University

Base Excisions Repairation

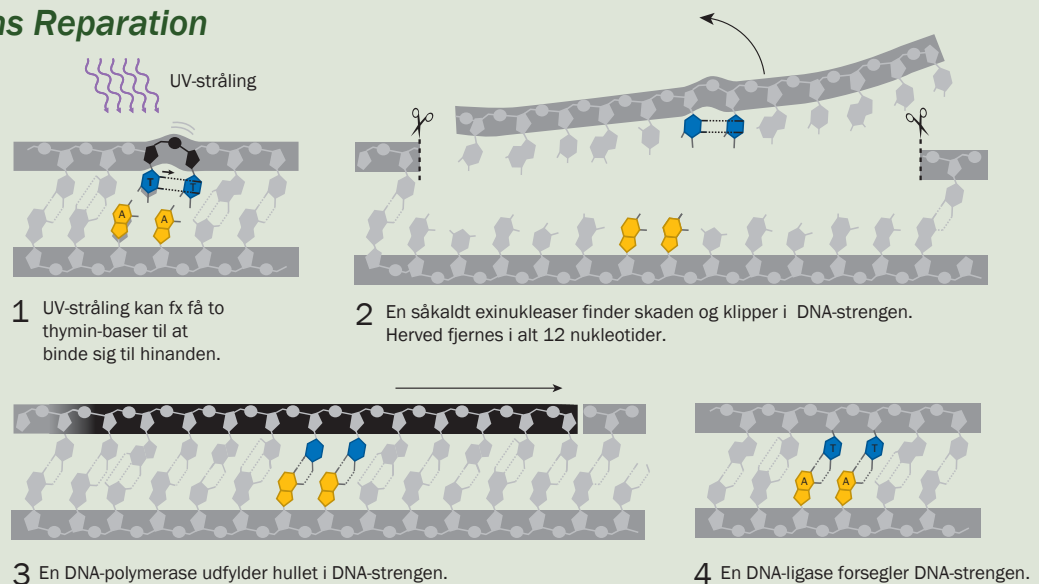


Princippet i mekanismen *Base Excisions Repairation* her vist med et eksempel, hvor der opstår en skade på basen cytosin.

Base Excisions Repairation er en mekanisme, som primært reparerer såkaldte oxidative DNA-skader, der opstår, når DNA'et reagerer med fx frie radikaler. Oxidative DNA-skader

genkendes af nogle bestemte proteiner kaldet DNA-glykosylaser. Efter at have bundet sig til den oxiderede byggesten skærer glykosylasen skaden ud af DNA'et. Det efterlader et lille hul i DNA'et, som "files" til, så en DNA-polymerase kan indsætte en ny korrekt byggesten ved at aflæse koden i den komplementære DNA-streng.

Nukleotid Excisions Repairation



Princippet i mekanismen *Nukleotid Excisions Repairation* i et tilfælde, hvor UV-stråling får to thymine-baser til fejlagtigt at binde sig til hinanden. Her vises hvordan mekanismen fungerer i bakterier, men de overordnede principper er tilsvarende i pattedyr. *Nukleotid Excisions Repairation* reparerer skader på DNA's struktur, når det har været udsat for UV-stråling eller visse kemiske stoffer. Sådanne skader kan opstå når en af byggestenene i DNA'et bindes sammen med en anden, eller byggestenen kan ændres således, at den bliver større og buler

ud af DNA'et. Dermed kan DNA-strukturen blive ustabil, hvilket igen kan forhindre bestemte proteiner i at udføre deres arbejde på DNA'et i cellen. Afhængig af, hvor skaden sidder i DNA'et, vil enten en RNA-polymerase eller proteinet XPC genkende skaden og tilkalde flere reparationsproteiner til skadestedet. Nogle af disse proteiner klipper i DNA'et på begge sider af skaden. Det skadede DNA-stykke fjernes herefter fra resten af DNA'et og nedbrydes. Derefter kan et andet protein, en DNA-polymerase, indsætte et nyt stykke DNA med de rigtige byggesten.



VÆLG DEN RIGTIGE UDDANNELSE FOR DIG

På Københavns Universitet har du gode muligheder for at opleve vores 21 naturvidenskabelige bacheloruddannelser. Det hjælper dig til at vælge den uddannelse, der bedst matcher, hvad du vil. Du kan blandt andet:

- Komme til Åbent Hus den 2. og 4. marts
- Blive "Studerende for en dag"
- Gå i tre dages studiepraktik
- Besøge os med din klasse

BESØG OS PÅ FACEBOOK OG INSTAGRAM OG SE MERE OM STUDIELIVET PÅ UDDANNELSERNE

 Læs på SCIENCE

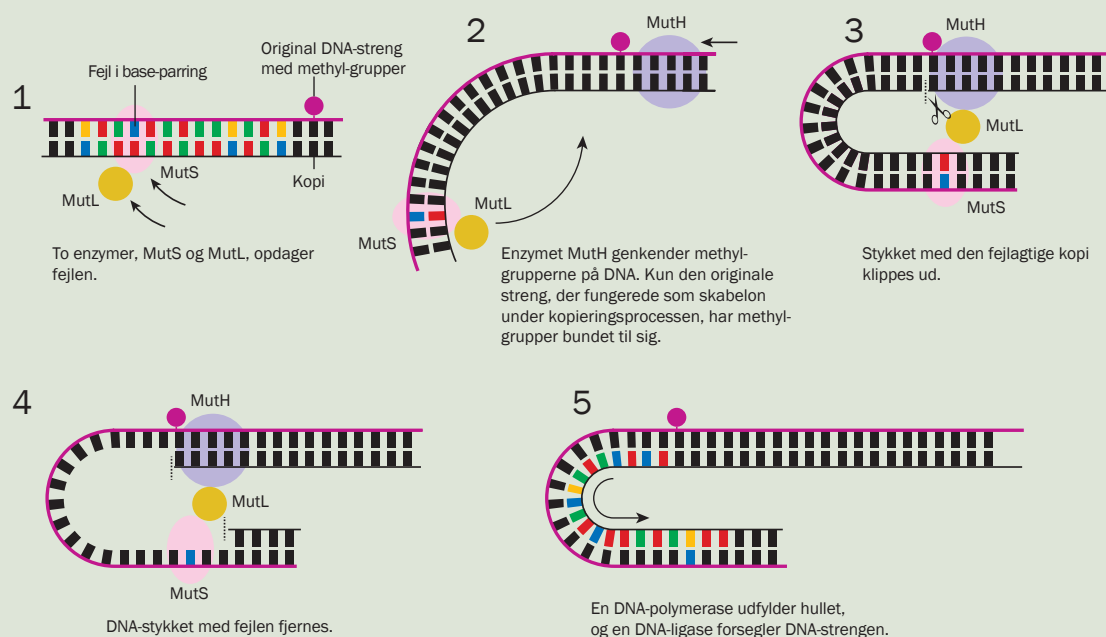
 scienceku

Læs mere om vores uddannelser og dine mange muligheder på science.ku.dk/ba

21 NATURVIDENSKABELIGE BACHELORUDDANNELSER:

Biokemi * Biologi * Biologi-bioteknologi * Datalogi * De fysiske fag * Forsikringsmatematik * Fødevarer og ernæring * Geografi og geoinformatik * Geologi-geoscience * Have- og parkingeniør * Husdyrvidenskab * Idræt * Jordbrugsøkonomi * Kemi * Landskabsarkitektur * Matematik * Matematik-økonomi * Molekylær biomedicin * Nanoscience * Naturressourcer * Skov- og landskabsingeniør

Mismatch Repair



Princippet i *Mismatch*-reparationsmekanismen, der retter fejl i forbindelse med kopiering af DNA. Mekanismen er så effektiv, at ud af 1000 fejl, vil alle på nær en blive repareret.

Den tredje mekanisme, *Mismatch Repair*, er på spil, når cellen deler sig. Ved celledeling skal DNA'et kopieres, så der dannes to identiske sæt DNA – ét sæt til hver ny celle. Cellen bruger den allerede eksisterende DNA-streng som skabelon for, hvordan den nye DNA-streng skal se ud. Under kopieringen kan der ske fejl, så der indsættes en forkert byggesten,

som ikke passer med skabelonen. *Mismatch*-reparations-systemet involverer proteiner, som kan registrere forkert indsatte byggesten, hvorefter en såkaldt endonuklease klipper i DNA'et foran den forkerte base. Det frigør en ende af DNA'et og tillader dermed et andet protein, en exonuklease, at gribe fat i den frie ende og nedbryde den del af DNA'et, hvor skaden sidder. Dernæst kan en DNA-polymerase, ligesom i de to andre reparationsmekanismer, indsætte den rigtige rækkefølge af byggesten i DNA'et ved at aflæse den komplementære streng (skabelonen).

Alle illustrationer:
© Johan Järnstad/The Royal
Swedish Academy of Sciences

men lignet med andre patienter med tyk- og endetarmskræft. Da sygdommen er arvelig, og man nu har opnået stor viden om de specifikke mutationer i *Mismatch* Reparations-systemet i de berørte familier, er det muligt at tilbyde forebyggende screeninger i familier, som har en høj risiko for at udvikle denne type kræft. Dermed kan man opdage og fjerne eventuelle svulster på et tidligt stadie.

Spændende perspektiver i forskningen

Kræftceller adskiller sig bl.a. fra andre celler ved, at de deler sig meget hurtigt og kan blive ved med det i utroligt lang tid. Hver gang en celle deler sig, bliver der produceret en ny kopi af cellens DNA. Mange af de lægemidler, som bruges til kemoterapi i kræftbehandling, hæmmer kræftcellernes evne til at dele sig. Det gøres ved at beskadige kræftcellernes DNA og derved forhindre cellens DNA-kopieringsmaskineri i at lave kopier af DNA'et til den næste generation af celler. I nogle tilfælde er kræftcellernes DNA-reparation dog så effektiv, at skaderne forårsaget af kemoterapien bliver repareret og

dermed ikke har den ønskede virkning. Efterhånden som vi opnår et bedre kendskab til DNA-reparationsmekanismer, og hvordan de kan blokeres, vil det forbedre mulighederne for behandlingen af kræft. Faktisk har man allerede nu identificeret én gruppe af stoffer, som øger effekten af kemoterapeutika ved at blokere DNA-reparationen i kræftceller.

Som nævnt er Alzheimers sygdom, og også andre såkaldt neurodegenerative lidelser, kendetegnet ved forøgede niveauer af reaktive iltmolekyler, hvilket resulterer i flere oxidative skader i DNA'et i hjernens impulsledende celler, neuronerne. Derfor kan en bedre forståelse af DNA-reparation og større viden om, hvilke mekanismer der kan øge effektiviteten af DNA-reparationen også kunne hjælpe til at få forståelse og behandling af disse sygdomme. Man forventer, at fremtidige medikamenter, der øger DNA-reparationen og dermed fjerner flere DNA-skader, vil kunne mindske og måske endda totalt standse sygdomsudviklingen for en række neurodegenerative lidelser.

Der er også teorier, der forbinder mængden af skader i DNA'et og effektiviteten af DNA-reparationen med, hvor hurtigt og hvordan vi ældes. Ældre menneskers DNA indeholder en øget mængde af DNA-skader i forhold til unge, og de fleste ældre har også en lavere DNA-reparationsaktivitet. Da der kan være individuelle forskelle i hvor effektivt vores DNA reparerer, vil en større viden om, hvordan DNA-reparationsaktiviteten reguleres også kunne bidrage til at forstå, hvorfor der er relativt store individuelle forskelle på, hvor stor en del af vores kognitive evner, vi bevarer i alderdommen. På længere sigt vil vi formodentlig kunne komme med forslag til, hvilke livsstilsændringer der vil kunne bidrage til en mere sygdomsfri alderdom og velbevarede kognitive funktioner. Da flere og flere mennesker i nutidens samfund opnår en meget høj alder, vil forskning indenfor aldersrelaterede forandringer i DNA-reparation derfor kunne være med til at højne livskvaliteten hos de ældste i samfundet.

Endelig findes der nogle sjældne arvelige sygdomme, hvor patienterne lider af såkaldte førtidige aldringssymptomer, dvs. at de ældes langt hurtigere end normalt. Flere af disse lidelser ser ud til at skyldes fejl i gener, der koder for proteiner, som er involveret i DNA-reparation. Fremtidig forskning i DNA-reparationsmekanismer vil således også kunne hjælpe de patienter, der lider af disse sygdomme. ■



Otteårig pige fra Nepal, som lider af sygdommen *Xeroderma pigmentosum*, som skyldes defekt i DNA-reparationsmekanismen Nukleotid Excisions Reparation. Patienter med denne lidelse er ekstremt følsomme over for Solens UV-lys.

Videre læsning

Populærvidenskabelig artikel om kemiprisen på Nobelprisens hjemmeside: www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2015/popular-chemistryprize2015.pdf

Jeppesen DK, Bohr VA, Stevnsner T. (2011): DNA repair deficiency in neurodegeneration. *Prog Neurobiol.* 94(2):166-200.

Maynard S, Fang EF, Scheibye-Knudsen M, Croteau DL, Bohr VA. (2015): DNA Damage, DNA Repair, Aging, and Neurodegeneration. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 5(10). pii: a025130. doi: 10.1101/cshperspect.a025130.

Tinna Stevnsner (2014): *Hvorfor ældes vi? – når vores molekyler gør os gamle.* I Kjaer, CR. (ed) "25 Søforklaringer" (s. 336-347), Aarhus Universitetsforlag.

Stevnsner, T., Thorslund, T. & Bohr, VA: Aldringens molekylærbiologi. *Aktuel Naturvidenskab* 1/2004.



Foto: Tine Harden

Byg og flyv med droner på SDU

Prøv en 5 timers workshop, hvor dine elever bygger en drone og tester dens evne til at flyve

Workshoppen kombinerer et indledende teoretisk/praktisk oplæg fra ingeniørstuderende og efterfølgende 'hands on' dronebygning, hvor eleverne arbejder i grupper på 3-4 personer. Workshoppen er målrettet 2. og 3.g-klasser med teknisk-naturvidenskabelig interesse. Den er gratis og finder sted på SDU i Odense. Undervejs vil der være mulighed for at eksperimentere med at flyve med mini-droner i lokalet.

I teorien indgår emner som:

- Mekanik, regulering og elektronik
- Komponenter såsom motor, propeller, electric speed controller, flight controller, energidistribution (batteri) og radiokommunikation
- Sensorer såsom IMU (accelerometer, gyrometer, magnetometer, barometer, termometer) og GPS
- Luftfartsregler og sikkerhed for droner.

Afslutningsvis tester I dronerne i et særligt "dronebur" i robotlaboratoriet RoboLab for at se, om de rent faktisk kan flyve.

Se og book alle vores workshops, foredrag og brobygningstilbud på: www.sdu.dk/tek/brobygning

Kontakt os for nærmere information:
Tlf. 6550 7444 / brobygning@tek.sdu.dk

Naturen sætter en grænse

– status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø

Bølgerne går igen højt i den offentlige debat om landbrugets udledning af næringsstoffer til miljøet. Stig Markager gør i denne artikel rede for sammenhængene mellem næringsstofftilførsel og miljøtilstand set fra et naturvidenskabeligt perspektiv.

Om forfatteren



Stig Markager er professor på Institut for Bioscience - Marin biodiversitet og eksperimentel økologi Aarhus Universitet ssm@bios.au.dk

I 1972 kom Rom-klubben med rapporten *Grænser for vækst*, som senere blev til en bog af samme navn. Den kan synes lidt gammeldags i dag 43 år efter. Men det, vi oplever i 2015 i Danmark, er et skoleeksempel på netop det – at naturen sætter en grænse. *Der er en grænse for, hvor mange næringsstoffer man kan udlede til miljøet, uden at følgerne for naturen bliver uacceptable.* Emnet er relevant i Aktuel Naturvidenskab, fordi naturvidenskabelige argumenter bruges og misbruges i den offentlige debat. Følelserne kan komme så meget i kog, at ekstreme udsagn som “den rødgrønne femtekolonne” kommer i brug.

Sætningen ovenfor indeholder to udsagn. Det første er, at der er sammenhæng mellem tab af næringsstoffer til omgivelserne og naturens tilstand – ren naturvidenskab. Den anden påstand er, at der er en “uac-

ceptabel” tilstand for naturen. Det er et værdiladet udsagn, som indeholder elementer af etik, værdier, økonomi og politik. Her må banen være helt åben – det handler om værdier og holdninger. Påstande om naturvidenskabelige sammenhænge kan og bør derimod granskes inden for den naturvidenskabelige referenceramme. Målet med denne artikel er at give en status for vores naturvidenskabelige viden om emnet og gennemgå de mest almindelige påstande.

Næringsstoffer og vandmiljøet

Den grundlæggende effekt af kvælstof er, at væksten af planteplankton stiger. Herved starter en kaskade af effekter, som fuldstændigt ændrer miljøtilstanden i lavvandede fjorde, som vi har til overflod i Danmark. Vandet bliver uklart, og planterne på bunden forsvinder pga. lysmangel. Det gør havbunden ustabil og mere eksponeret, så den oftere



Foto: Stig Markager

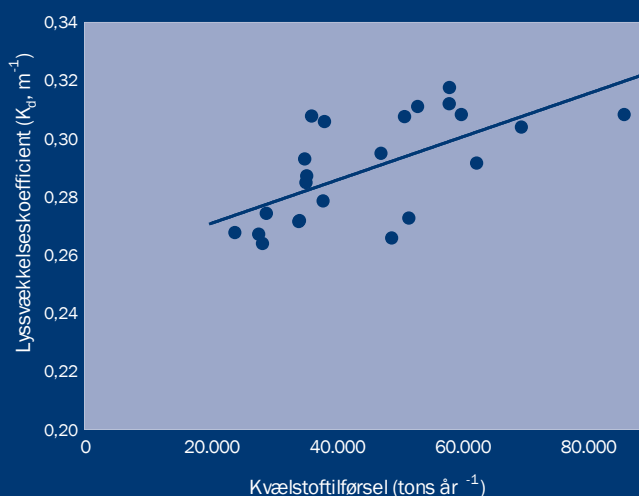
hvirvles op af bølger, og vandet bliver endnu mere uklart – en selvforstærkende proces. Mere plan-
teplankton fører også til højere primærproduk-
tion, som tilfører mere organisk stof til vandet og
bunden. Det øger iltforbruget og forårsager ilt-
svind. Iltsvind ændrer de kemiske processer i hav-
bunden, så giftig svovlbrinte frigøres, og fosfor og
kvælstof frigøres fra bunden til vandsøjlen ovenover,
hvor det på ny stimulerer planteplanktonets vækst –
endnu en selvforstærkende proces. Disse sammen-
hænge er veldokumenteret for utallige fjorde og
kystnære havområder verden over.

Fosfor eller kvælstof?

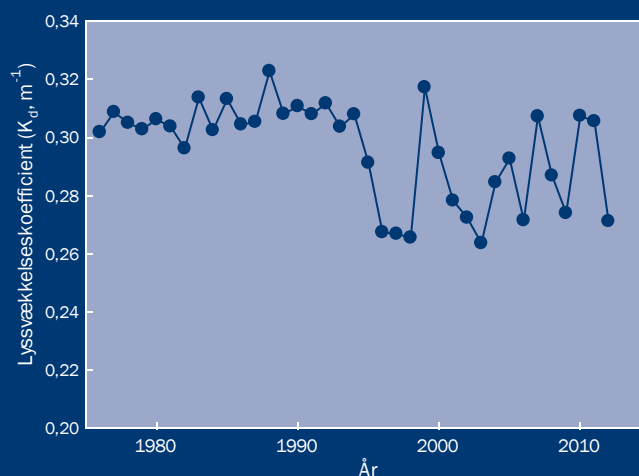
De samme principper gælder for fosfor, som beskrev-
et ovenfor for kvælstof. Det afgørende for deres
relative betydning er, hvilket næringsstof der er
mindst af i forhold til planternes behov. I ferskvand



Fytoplankton er mikroskopiske alger, som svæver i vandet. De kan antage mange
former og er ofte meget smukke. Hele planten er aktiv i fotosyntesen, dvs. de har
ikke rødder eller stængler, som skal holdes vedlige. Vækstraten kan derfor blive
meget høj, for nogle arter en fordobling pr. dag, når lys og næringsstoffer er til
stede i rigelige mængder. Økosystemet bliver dermed meget ustabil, og vandet
kan gå fra at være klart til ekstremt grønt på få dage.

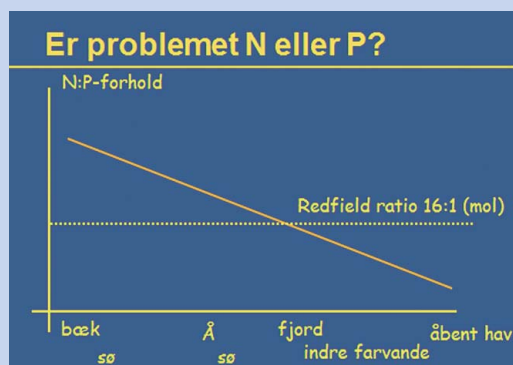
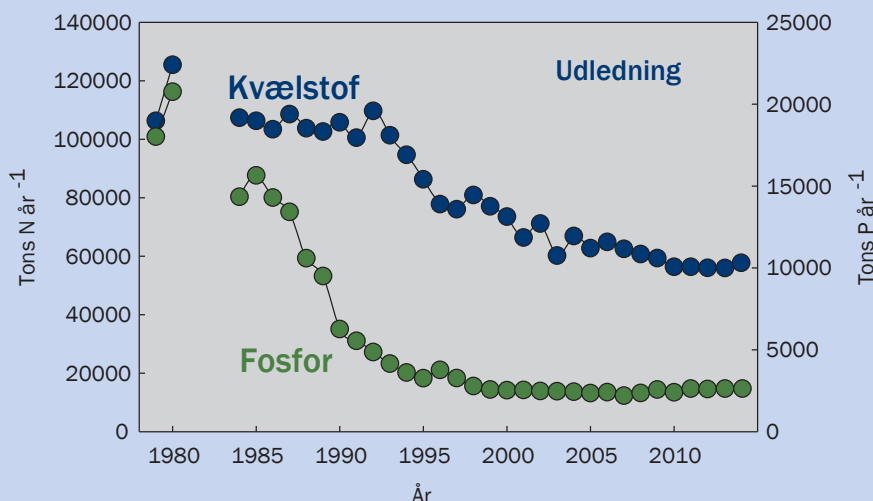


Eksempel på sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og vandets klarhed. Figuren
viser årligt gennemsnit af lyssvækkelseskoefficienten for seks stationer i Kattegat
og Bælthavet mod danske landbaserede kvælstoftilførsler til de indre farvande
(lidt lavere end værdierne for tilførslerne til alle danske farvande). Sammenhæn-
gen er signifikant ($p < 0,01$). Hvis Sveriges og Tysklands tilførsler inkluderes, bliver
sammenhængen svagere, hvilket indikerer den store betydning af danske tilførsler.
En tilsvarende sammenhæng for en fjord viser en stærkere sammenhæng.



Figuren viser, hvordan vandet langsomt bliver mere og mere uklart fra midt-70'erne
til 1994, hvor Danmarks reduktioner i kvælstoftilførsler begynder. Der er store
år-til-år svingninger, som skyldes variationer i nedbør og dermed kvælstoftilførsler,
temperatur og vind. Højere lyssvækkelse er lig mere uklart vand.

Danmarks landbaserede udledninger af kvælstof og fosfor fra 1979 til 2014 ved normal nedbør. Udledningerne fra før 1989 er usikre, da der ikke var en samlet landsdækkende model.



Skematisk figur af N:P forholdet i akvatiske miljøer.



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

er det oftest fosfor, og i det åbne hav er det kvælstof, som mest begrænser planteplanktonets vækst. Danske fjorde repræsenterer en overgang, hvor fosfor er i underskud om foråret. Senere på året skifter det, så kvælstof bliver begrænsende, fordi fosfor i højere grad end kvælstof tilføres fra havbunden, efterhånden som ilten i havbunden bruges op, mens kvælstof tabes ved nitrataånding (denitrifikation). I Kattegat er fosfor kun begrænsende i nogle dage om foråret, i Bælthavet er det begrænsende i nogle uger, og i fjordene kan fosfor være begrænsende helt hen i juni. Når det er sagt, er koncentrationerne af *både* fosfor og kvælstof ofte lave om sommeren, så planteplankton bruger ressourcer på at maksimere optaget af begge stoffer. Tilføres der mere af enten fosfor eller kvælstof, vil begge stoffer ofte stimulere væksten af planteplankton.

Interesseorganisationen Bæredygtigt Landbrug (BL) postulerer, at det kun er fosfor, som er et problem, og da det ifølge dem primært tilføres med byspildevand, skulle dette argument frikende landbruget for ansvar for havets miljøproblemer. Argumentet er, at mangel på kvælstof automatisk vil kompenseres af kvælstoffiksering hos cyanobakterier (blågrønalger). Omvendt skulle – stadig ifølge BL – for meget

kvælstof automatisk blive fjernet ved kvælstoffånding. Begge påstande er forkerte.

Cyanobakterier trives kun ved saltholdigheder under ca. 12 promille og findes derfor kun i Østersøen og i de allerinderste dele af fjordene. Med års mellemrum kan sydøstlige vinde drive masseforekomster op i Øresund og længere nordpå, men de vokser kun aktivt i Østersøen. Cyanobakterier kræver desuden høje temperaturer (sensommeren) og vokser generelt langsomt, så normalt taber de i konkurrencen med andre arter. I Kattegat og Bælthavet bidrager deres kvælstoffiksering kun med 4-5 % af den samlede kvælstoftilførsel. Fjernelse af kvælstof ved nitrataånding er også i havet en vigtig proces og betyder, at kvælstof ultimativt vil komme i underskud i forhold til fosfor på vandets vej fra marken til det åbne hav. Men processen kræver iltfrie forhold. Der går derfor lang tid, før kvælstof er fjernet, ofte først efter at det kommer ned i den iltfrie del af havbunden. Længe inden da, er vandet løbet videre på sin vej mod oceanerne.

Stadig meget høje tilførsler af næringsstoffer
Endelig er det ikke korrekt, at fosfor hovedsagelig kommer fra byspildevand. Sådan var det engang. Men siden sidst i 1980'erne er spildevandet blevet renset



Foto: Helle Knudsen-Leerbeck

Planter og kvælstof

Planter har brug for kvælstof. Billedet viser søsalat (*Ulva lactuca*) i laboratoriet. Planterne til højre får tilført kvælstof hver dag og er sunde og mørkegrønne. Planterne til venstre har ikke fået kvælstof i 24 timer. De kan ikke danne klorofyl – eller mere præcist de membraner, klorofyl skal sidde i – og er derfor lysegrønne, og deres vækst er allerede stoppet. Billedet illustrerer, hvor potent kvælstof er i havet. Der er ikke noget nyt i, at planters vækst er afhængig af kvælstof, og det er præcis derfor, at landbruget bruger store mængder kvælstof, og at det var en revolution for menne-

skeheden, da Haber og Bosch opfandt metoden til at binde luftens kvælstof i 1909-10. I havet reagerer de mikroskopiske alger i vandet præcis som søsalat, men da de er endnu mindre og har et større overflade/volumen-forhold, kan de vokse endnu hurtigere. Helt generelt er kvælstof en "mangelvare" i naturen, og en stor del af evolutionen hos planter og dyr har handlet om at optage og økonomisere med kvælstof. Når kvælstof så bliver tilgængeligt i overflod, ændrer det artssammensætningen og økosystemets struktur, både i vand og på land.

effektivt, og i dag kommer fosfor overvejende fra det åbne land. Så forureningen af havet med både fosfor og kvælstof stammer alt overvejende fra landbruget.

I 1980'erne var Danmarks udledninger omkring 120.000 tons kvælstof og 20.000 tons fosfor pr. år. Det er siden reduceret til omkring 57.000 tons kvælstof og 2.400 tons fosfor, dvs. med henholdsvis ca. 52 % og 88 %. Af de 57.000 tons kvælstof, som udledes i dag, kommer ca 66 % fra landbruget, 23 % som baggrund fra det åbne land og 11 % fra rensningsanlæg.

Der har været en meget markant reduktion af Danmarks næringsstoffertilførsler til havet, som har medført meget betydelige og veldokumenterede forbedringer af miljøet. Ser man på tilførslerne i et lidt længere perspektiv, er de dog stadig meget høje. Kvælstofoverskuddet i landbruget er således stadig fire gange over niveauet for 100 år siden, og det nuværende overskud svarer til niveauet omkring 1970. Der er en vis usikkerhed, når man overfører tal for kvælstofoverskud på marken til tilførsler til havet. Nitratånding betyder, at kvælstof tabes på vejen fra marken til havet. For hundrede år siden var der langt mere vand i landskabet og derfor både en længere

transporttid for kvælstof fra marken til havet og flere vandmættede jorde med ofte iltfrie forhold på vejen, hvor nitratånding fjernede kvælstoffet. Paradokset er, at mange af de tiltag, som vi i dag må tage i brug for at mindske udledningen af både kvælstof og fosfor, handler om at bringe vandet tilbage i landskabet!

Kommer næringsstofferne til os udefra?

I fjordene kommer langt den overvejende del af næringsstofferne fra dansk land, men i Kattegat og Bælthavet er det mere kompliceret. Årligt strømmer der 515 km³ vand ud gennem de danske bæltter som nedbørsoverskud fra Østersøen. Endvidere tilføres 800 km³ tungt saltholdigt bundvand fra Skagerrak til Kattegat, hvor det blandes op i det lettere overfladevand og passerer ud igen til Skagerrak. De store vandmængder indeholder kvælstof og fosfor, så målt på de total mængder, er de danske tilførsler små. For kvælstof er de beregnet til 10 %. Dette tal giver dog ikke et retvisende billede, da langt hovedparten af kvælstoffet i havstrømmene er bundet i humusstoffer og derfor ikke er tilgængeligt for planteplanktonets vækst. Den danske andel af det kvælstof, planteplanktonet kan bruge, er 16 % for Bælthavet og Kattegat. Det sidste tal giver dog heller ikke et retvisende billede af danske tilførslers effekt. Modelbereg-

EU's Vandrammedirektiv – lige vilkår for naturen

Da EU's vandrammedirektiv blev vedtaget i 2000 var det et fremsynet nybrud inden for naturforvaltning. Vandrammedirektivet tager udgangspunkt i naturen og har som målsætning "god økologisk tilstand" (GØT). Tidligere havde vi nationale planer, hvis mål var en given påvirkning – for havet en reduktion af udledninger af N og P med henholdsvis 50 og 80 %. Der var ingen som vidste, om det var nok – eller for meget – for at opnå et godt havmiljø. Da udgangspunktet heller ikke var defineret, blev det hurtigt noget rod.

I Vandrammedirektivet er GØT defineret ved en række indikatorer, som tager hensyn til de lokale økologiske forhold. Det er oplagt, at GØT ikke er ens alle steder. Fx vil det aldrig være muligt at opnå samme klare vand i en dansk fjord som i Middelhavet. Omvendt vil et miljømål i Middelhavet for vandets klarhed, som vi finder det i Danmark, være en katastrofe, da havgræsser her naturligt vokser ned til 45 meter. I Danmark er vores lokale havgræs – ålegræs – aldrig observeret dybere end ca. 14 m. I Danmark bruges netop dybdegrænsen for ålegræs som en vigtig indikator. I de første vandplaner var

det den eneste indikator. I 2. generation af vandplaner bruges også koncentrationen af klorofyl i vandet, vandets klarhed, om algernes vækst potentielt er kvælstofbegrænset og forekomsten af iltsvind.

En vigtigt – og ofte overset – konsekvens af vandrammedirektivets fokus på naturen er, at det *ikke* giver – og ikke *skal* give – lige vilkår for at dyrke landbrug mellem de forskellige lande og mellem områder i Danmark. Afvander ens marker ud til en lukket sårbar fjord, som mange danske fjorde er, så har man ringere vilkår for at dyrke landbrug, end hvis man afvander ud til en åben kyst, fx det åbne Atlanterhav, hvor næringsstofferne i højere grad forsvinder. Dette er principielt ikke anderledes end for andre forhold. Naturen, fx i form af jordbund, temperatur eller nedbør, har altid været et rammevilkår for landbrug. Det nye er, at den ubegrænsede evne og mulighed for at tilføre marken næringsstoffer, flytter den begrænsende faktor fra at være jordens naturlige frugtbarhed, til det omgivende miljøes sårbarhed.

Faktatjek af udsagn i debatten

1. Nitrat modvirker iltsvind', Nitrat fra landbruget er gavnligt, ... det sørger for ilt til vandmiljøet:

Forkert! Nitrat indeholder ilt, men det er alligevel skadeligt for vandmiljøet. Nitrat indeholder som bekendt tre iltatomer og et kvælstofatom. Ved en koncentration på 4 mg N l⁻¹ (18 mg nitrat l⁻¹) og en iltkoncentration på 11,2 mg l⁻¹ (typiske værdier for et dansk vandløb om vinteren) er der mere ilt bundet i nitrat end som opløst frit ilt (O₂). Men vandløbet strømmer ud som overfladevand i havet, og det er ikke ved overfladen, der er iltproblemer. Iltsvind opstår i og ved bunden pga. organisk stof, som synker ned med planktonalger, som vokser, når der tilføres nitrat. Derfor fører nitrat til iltsvind i havet.

2. Danske miljøregler betyder, at dansk korn indeholder så lidt protein, at det får en dårlig kvalitet:

Forkert! Proteinindholdet i korn er faldet siden 1890, især

fordi man har fået sorter, som vokser hurtigere og får større kerner og dermed højere udbytte. Så er det svært at få et højt proteinindhold. Det er korrekt, at generelle gødningsnormer sammen med højtydende sorter kan give problemer. Løsningen er målrettet regulering, hvor landmanden fx får lov til at bruge mere kvælstof på nogle marker, mod så at bruge mindre på andre arealer, eller tager arealer helt uf af drift. Dyrker man 62 % af Danmarks areal med de mest højtydende sorter og tilsvarende gødningsforbrug, bliver tabet af kvælstof meget højt, og som sagt: »der er grænser for vækst».

3. Det forbedrer ikke havmiljøet at Danmark sænker næringsstoffertilførslerne:

Forkert! I artiklerne Riemann et al 2015 og Lyngsgaard et al 2014 er det fx entydigt vist, at de reduktioner i tilførslerne Danmark har gennemført siden 1990 har givet signifikante miljøforbedringer.

ninger viser, at hovedpart af miljøeffekten af nitrat sker inden for ca. 25 km fra kilden. Forklaringen er den, at nitrat optages og indbygges i planteplanktonet. Når planteplanktonet dør, nedbrydes det organiske stof, men denne nedbrydning er ufuldstændig, og via en række processer ender over 90 % af kvælstoffet med at blive indbygget i relativt inaktive humusstoffer. Kvælstofs miljøeffekt skal derfor ses i to faser. Først er der en hurtigt og kraftig effekt af uorganisk kvælstof – dvs. nitrat og ammonium – på planteplanktonets vækst, som giver umiddelbare og lokale effekter inden for ca. 25 km i afstand og uger eller få måneder efter, udledningen er sket. Derefter ophobes kvælstofrigt organisk stof som humusforbindelser i vandet og mudder på havbunden. Fra disse kilder vil kvælstof langsomt – over måneder til årtier – frigives og igen stimulere planteplanktonets vækst. De negative effekter af eutrofiering er således en kombination af vores udledninger her og nu, og tidligere eller fjertliggende udledninger.

Indbygget tidsforsinkelse

Miljøtilstanden i havet er blevet markant bedre over de senere år. Den markante reduktion i udledningen af fosfor fra renseanlæg midt i 1980'erne førte til en hurtigt og markant forbedring med mindre planteplankton og klarere vand om foråret. Kvælstoftilførslerne begyndte først at falde efter 1994, og siden har vi set en langsom men tydelig forbedring i miljøtilstanden. Der er dog en tidsforsinkelse indbygget. Der går 8-10 år fra næringsstofftilførsler reduceres til den fulde effekt slår igennem på næringsindholdet i fjordene. Den vigtigste grund til forsinkelsen er næringspuljer i bunden, som skal indstilles i en ny ligevægt med de lavere tilførsler og koncentrationerne i vandsøjlen. De store puljer i havbunden skal først falde til et lavere niveau, og det tager tid. Først derefter oplever planteplankton en mindre adgang til næringsstoffer med deraf følgende mindre produktion af organisk stof og klarere vand. Omkring 95 % af alt kvælstof ligger i de øverste 20 cm af havbunden, så havbunden "husker" fortidens synder.

To vigtige kvalitetsmål – iltsvind og udbredelse af ålegræs – har været særligt længe om at vise en positiv udvikling. For iltsvind hænger det sammen med de store puljer af organisk stof (mudder), som er lagret på havbunden og som i kombination med stigende vandtemperatur og mindre vind fortsat kan udløse iltsvind. For ålegræs skyldes det, at lysforholdene kun langsomt bliver bedre, iltsvind fortsat er udbredt og ålegræs er længe om at etablere nye bestande. Vi har dog set en tydelig positiv udvikling i fjordene de seneste seks år.

Kan havmiljøet blive som "i de gode gamle dage"?

Bliver det nogensinde som før? Hvor længe vil det vare, før det bliver "godt", og hvor meget skal til-

førsler af kvælstof og fosfor reduceres for at opnå vandrammedirektivets mål om "god økologisk tilstand"?

Der er forskellige meninger om, hvorvidt et godt havmiljø kan genskabes. I nogle fjorde er bunden så "mudret", at det kan tage flere årtier at rette op på. Til den tid kan klimaforandringer betyde, at det er et andet havmiljø, vi får, så måske bliver det aldrig helt som før. De fleste steder er der dog ingen grund til at tro, at miljøet ikke kan blive som i 1950'erne, da vandet var klart, ålegræs var vidt udbredt og bestandene af bundfisk var rigelige. Men genopretningen vil tage 20-30 år fra nu, og den forudsætter, at man fra politisk hold fastholder overholdelsen af EU's vandrammedirektiv.

Anden generation af vandområdeplaner var i høring i 2015. Den politiske vedtagelse skulle være sket inden jul 2015, men er nu udskudt til 2016. Der er lavet en række faglige rapporter, som grundlag for vandplanerne. Her er der beregnet, hvor meget kvælstoftilførslen til 120 marine områder skal reduceres for at opnå god økologisk tilstand. Lægges man dem sammen, skal de danske landbaserede kvælstoftilførsler ned på omkring 42.000 tons pr. år, svarende til en reduktion på 26 % af de nuværende tilførsler. Kun ca. 10 procent af de 120 havområder har i dag god økologisk tilstand. Der er således ingen tvivl om, at Danmark ikke opnår målet i vandrammedirektivet om god økologisk tilstand i 2015, ej heller i 2021, som er den næste frist. I 2027 er det for mange områder muligt at opnå målet, forudsat at tilførslerne inden for få år reduceres til 42.000 tons N pr. år. Hvis Danmark bevarer fokus og fastholder det lange seje træk, kan det lykkes. Omvendt kan vi smide de opnåede gevinster væk på et par år, hvis tilførslerne for lov at stige igen.

Der er andre faktorer, som har en negativ påvirkning af havet, men samlet er det alt overvejende danske tilførsler af næringsstoffer, som bestemmer miljøtilstanden i de danske fjorde og også langt hen ad vejen i Bælthavet og Kattegat.

Naturens grænse

I EU's vandrammedirektiv er god økologisk tilstand defineret ud fra ålegræssets dybdegrænse og mængde af planteplankton i vandet. Med dagens klima og den nuværende miljøtilstand, viser flere forskellige typer beregninger som nævnt, at den øvre grænse for kvælstoftilførslen fra land ligger på 42.000 tons pr. år. Ser man på de enkelte fjorde er der stor variation. Nogle steder er god økologisk tilstand næsten opnået og vil antagelig indfinde sig efter nogle år uden yderligere anstrengelser. I den anden ende af spektret er der fjorde – fx Skive Fjord og Mariager Fjord – hvor en halvering af tilførslerne er nødvendig for at opnå god tilstand i fremtiden. ■

Videre læsning

Lyngsgaard, M. M., Markager, S., & Richardson, K. (2014). Changes in the vertical distribution of primary production in response to land-based nitrogen loading. *Limnology and Oceanography*, 59(5), 1679-1690.

Riemann, B., J. et al (2015) Recovery of Danish coastal ecosystems after reductions in nutrient loading: trends and time lags. *Estuaries and Coasts*, doi:10.1007/s12237-015-9980-0

Maar, M., S. Markager, K. S. Madsen, J. Windolf, M. M. Lyngsgaard, H. E. Andersen, E. F. Møller. (2016) The importance of local versus external nutrient loads for Chl a and primary production in the Western Baltic Sea. *Ecological Modelling*, 320, 258-272.

Jørgensen, L., S. Markager & M. Maar (2014) On the importance of quantifying bioavailable nitrogen instead of total nitrogen. *Biogeochemistry* 117, 455-472. doi: 10.1007/s10533-013-9890-9.

Timmermann, K., J. Christensen, C. Murray & S. Markager (2015) Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – del 3

Erichsen, A.C., H. Kaas, K. Timmermann, S. Markager, J. Christensen, C. Murray (2014) Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 1, Metode til bestemmelse af målbelastning. DHI-Aarhus Universitet.

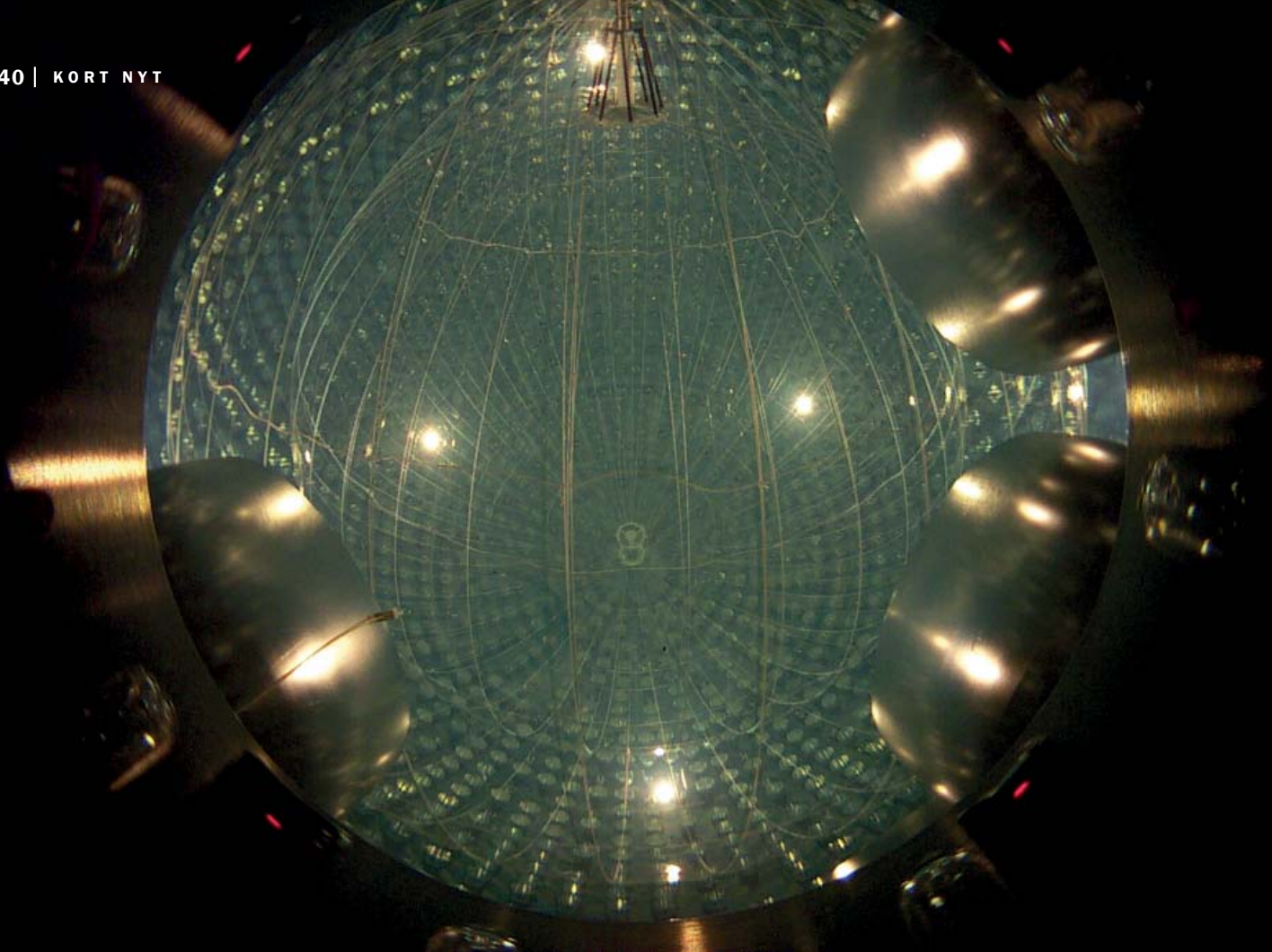


Foto: Borexino-eksperimentet

Elektroner bliver ældgamle

↑ Borexino-detektoren befinder sig dybt nede under et bjerg ved Gran Sasso-laboratoriet i Italien. Eksperimentet er designet til at detektere neutrinoer, og det rummer 300 ton organiske væske overvåget af 2212 fotosensorer.

Hvor lang levetid har en elektron? Det er et godt spørgsmål, som fysikere ved det italienske Borexino-eksperiment nu har givet det indtil nu bedste bud på. Ifølge deres resultater, der for nylig er publiceret i tidsskriftet *Physical Review Letters*, vil en elektron, der findes i dag, stadig være til stede om $6,6 \times 10^{28}$ år. Det er sådan ca. 5 trillioner gange længere end Universets nuværende alder, så elektroner er ikke noget, vi løber tør for i den nærmeste fremtid!

Forskerne er nået frem til resultatet i deres bestræbelser på at afgøre, om elektronen med tiden henfalder til en foton og en neutrino. Elektronen er den letteste af alle kendte partikler, der bærer en elektrisk ladning. Hvis elektronen skulle vise sig at henfalde, vil loven om energibevarelse betyde, at der vil dannes partikler med mindre masse såsom neutrinoer. Men alle kendte partikler med mindre masse end elektronen har ingen elektrisk ladning, og derfor må elektronens ladning på en eller anden måde "forsvinde" ved en sådan henfaldsproces. Det vil i så fald forbyde sig mod princippet om ladnings-

bevarelse, som er en del af partikelfysikkens Standardmodel, der beskriver elementarpartiklerne og vekselvirkninger mellem dem. Som en konsekvens anses elektronen derfor som en fundamental partikel, som aldrig vil henfalde. Imidlertid er Standardmodellen ikke en fuldstændig beskrivelse (således er tyngdekraften ikke inkluderet i Standardmodellen), og der er flere aspekter af partikelfysikken, som modellen ikke forklarer til fulde. Hvis man kunne påvise et henfald af elektronen, vil det derfor pege på endnu uopdaget fysik uden for Standardmodellens rammer og vil dermed hjælpe fysikerne med at udvikle bedre modeller for, hvordan naturen er skruet sammen på det fundamentale niveau.

De nye beregninger af elektronens levetid er baseret på observationer over 408 dage, og de $6,6 \times 10^{28}$ år er en forlængelse af levetiden med to størrelsesordener i forhold til tidligere tal. Man kan dermed sige, at muligheden for, at elektronen er en partikel, der faktisk henfalder, synes mindre end nogensinde før.

CRK, Kilde: *Physics World*

141 uddannelser
3 dage
1 overblik

Kom til tre dages åbent hus på
Aarhus Universitet

25., 26. og 27. februar 2016

TAG DINE ELEVER MED TIL U-DAYS

U-days tilbyder at betale 5.000 kr. til betaling af en bus, hvis I på egen hånd for jeres klasse eller for en større gruppe elever arrangerer bustransporten.

Ønsker I at benytte jer af muligheden for transportstøtte til og fra u-days, skal I blot sende en mail til udays@au.dk

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 Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitet
- Danmarks Meteorologiske Institut.

Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joakim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Annette Lind**, områdeleder, chefkonsulent, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet

Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv**, Roskilde Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet

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

Ansvarshavende

Dekan Niels Chr. Nielsen, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktion

Redaktør Jørgen Dahlgaard og redaktør Carsten Rabæk Kjaer

Tlf.: 87 15 20 94

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

Abonnementspris 2015

294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementservice: Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: aktuelnaturvidenskab@abo-service.dk

Layout og illustration: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 7.500

Omslag:

Mikroskopibillede (CARS) af flødeskum. De store, mørke bobler i strukturen er luft, og væggene mellem boblerne består overvejende af fedtstof. Luftboblerne er typisk 10-100 mikrometer store.

Foto: Mathias Porsmose Clausen og Morten Christensen.



Fagpanel

Aktuel Naturvidenskab samarbejder med en bred skare af fagfolk, der stiller deres faglige viden til rådighed for bladet.

- **Katrine Krogh Andersen, ph.d.**, forsknings- og udviklingschef, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., bibliotekschef, Syddansk Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen**, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche**, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel**, professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen**, statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Palle Høj Jakobsen**, ph.d. & DMSc., Managing Director, EIT Health Scandinavian CLC
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, ph.d., museumsdirektør, Statens Naturhistoriske Museum
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Glaciology and Climate Change Laboratory, Center for Scientific Studies/Centro de Estudios Científicos (CECs), Chile
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Carl-Erik Sølborg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

Sponsorabonnenter:



Intropakke



Intropakken – en oplagt gaveide!

Bestil en intropakke med de seneste otte numre samt abonnement i ét år (6 numre). Pris kun kr. 354,- inkl. moms, porto og ekspedition (merpris for udland).

Bestil via aktuelnaturvidenskab.dk
red@aktuelnaturvidenskab.dk
eller på tlf. 70 25 55 12.

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementservice på
Telefon: 70 25 55 12
Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.
aktuelnaturvidenskab@abo-service.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.

Bogomtaler

Atlas Flora Danica

I 1992 indledte Dansk Botanisk Forening en dokumentation af alle vilde blomster, buske, træer, urter og siv i Danmark. Undersøgelsen var på baggrund af en opdeling af det danske område i 1.300 kvadrater af 5 x 5 km. Mere end en million fundoplysninger er det blevet til fordelt på 3.000 plantearter. Resultatet af anstrengelserne er nu udkommet i trebindsværket *Atlas Flora Danica*. Bøgerne rummer bl.a. 2125 kort, der viser planternes udbredelse, og bøgerne fortæller for alle plantearter, hvordan og hvornår de er kommet til landet.
Per Hartvig: Atlas Flora Danica (bind 1-3). Gyldendal 2015. I alt 1.584 sider, 499,95 kr.

Grønlands geologi udforskes

Igenem mange år har geologer hver sommer trasket igenem Grønlands fjelde for at kortlægge geologien. Bogen fortæller om deres arbejde og giver læseren indblik i disse forskeres arbejde og deres hverdag i den barske natur.

Niels Henriksen: Grønlands geologi udforskes – glimt af geologernes arbejde. GEUS 2015. 336 sider, 250,- kr.

Ulv!

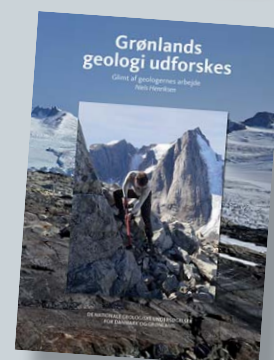
I 2012 vendte ulven tilbage til Danmark efter 200 års fravær. I denne bog fortæller historikeren Niels Hein om ulvens naturhistorie og om de myter, ulven har med sig i bagagen. I bogens tredje del diskuterer forfatteren ulvens fremtid i Danmark, hvor den kan siges at være på tålt ophold.

Niels Hein: Ulv! Dyret, myten, fremtiden. Gyldendal 2015. 182 sider, 249,95 kr.

Ormehuller – naturvidenskab i dansk

En 2-i-1 bog, der demonstrerer, hvordan fagene dansk og naturvidenskab gensidigt kan berige hinanden og bidrage til elevernes naturvidenskabelige dannelse. Del 1 af bogen er en inspirationsbog målrettet undervisere i gymnasiet, mens del 2 består af 10 essays af ni skønlitterære forfattere og fysikeren Holger Bech Nielsen.

Lars Green Dall: Ormehuller – Naturvidenskab i dansk. Dansk lærerforenings Forlag. 200 sider, 298,75 kr.



Oprydningssalg

Mangler du nogle numre af bladet?
Så er der nu en chance for at supplere samlingen med dette tilbud:

Tilbudspakke med ældre ikke udsolgte numre ca. 26 blade (fra år 2007-2014):
Pris kun 250,- inkl. porto (dk) og moms.

Se mere og bestil via hjemmesiden:
aktuelnaturvidenskab.dk eller
på telefon 7025 5512.

Nyhedsbrev

Tilmeld dig det elektroniske nyhedsbrev og få nyt om Aktuel Naturvidenskab i din mailboks.

Du får:

- Artikler på forhånd, når der er en aktuel anledning
- Appetitvækkere og link til artiklerne digitalt
- Information om andre aktuelle tiltag.

Tilmeld dig via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Mød os på Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

GPS-høstakken gemmer på lidt af hvert

Af Carsten Nielsen, Aalborg Universitet

Når en taxachauffør i København eller en busvognmand på Fyn svinger ud fra kantstenen, havner oplysninger om køretøjets fart, rute og brændstofforbrug ofte i en kæmpe database hos Center for Data-intensive Systemer ("Daisy") på Aalborg Universitet. De foreløbig fem milliarder registrerede målinger fra GPS-udstyr og anden teknologi ombord bliver brugt til at forbedre den offentlige trafikplanlægning. Men lektor Kristian Torp finder også vægtige argumenter for, at det er alt for dyrt i CO₂ at besøge svigermor hver måned, og at klimabevidste bilister med fordel kan høvle gennem rundkørsler uden at bremse.

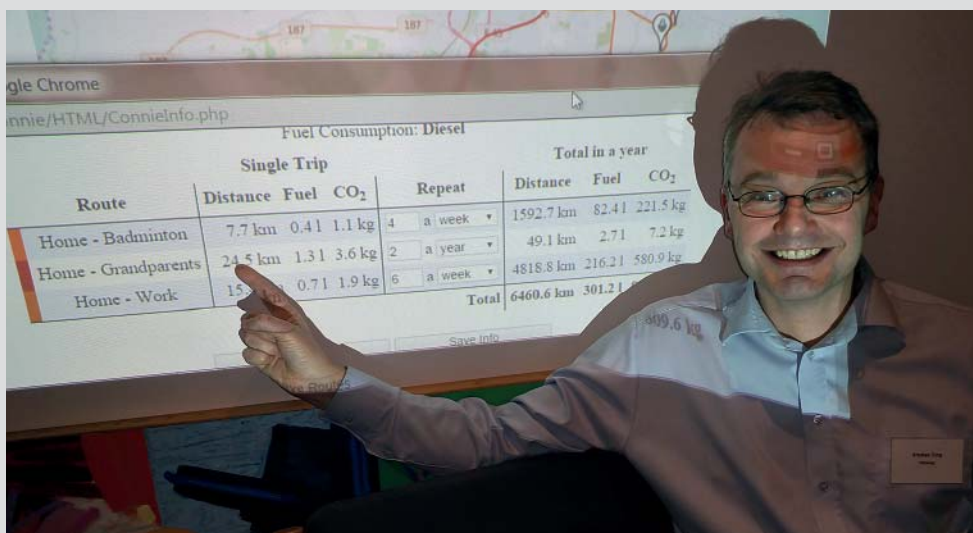


Foto: Carsten Nielsen

»Jeg har regnet på svigermor. Hvis jeg indskrænker de uøkologiske besøg hos mine svigerforældre til to gange om året og stadig kører på arbejde og til badminton nogle gange om ugen, kan jeg reducere min bils CO₂-udledning med det ene ton om året, som tidligere klimakommissær Connie Hedegaard bad os om,« siger Kristian Torp, og giver dermed også forklaringen på, at programmet bag beregningerne hedder "CO₂NNIE".

Overraskende sammenhænge

Den store trafikdatabases oplysninger er kernen i et hastigheds- og trængselskort, som dokumenterer kendte flaskehalse ved København, Vejlefjordbroen og Limfjordstunnelen. Den afslører også mindre kendte sammenhænge:

»Fx undrede jeg mig over tilsyneladende uforklarlige kødannelser i et område af Aalborg. Det viste sig så, at der ligger en bager på Skalborg Bakke, som på nogle tidspunkter af ugen påvirker trafikmønstret lige der,« fortæller lektor Kristian Torp.

Oplysningerne i databasen kommer fra driftsselskabet FlexDanmark, som på vegne af trafiksselskaberne koordinerer offentlig flextrafik for en milliard kroner om året til fx patienter og skolebørn.

»De bruger det til at udvælge de billigste og hurtigste ruter samt til at få chaufførerne til at opføre sig mere fornuftigt ved at køre økonomisk. Hvis en vognmand bruger 1,8 millioner liter diesel om året og

kan spare 10 %, så har han råd til en ny BMW til sommer. Det er god motivation,« mener Kristian Torp.

Af samme grund er der også hurtig respons, hvis databasen udpeger de forkerte ruter som de bedste. Det sker dog sjældnere, efterhånden som antallet af registrerede kørte ture vokser og trækker nøjagtigheden med op. I øjeblikket modtager forskerne cirka tre millioner rækker data dagligt om trafik i hele Danmark.

Hurtigere søgning i høstakken

Den svulmende GPS-høstak er en potentiel udfordring for hastigheden ved nålestiksoperationer ind i dens viden. Men sammen med postdoc Benjamin Bjerre Krogh har Kristian Torp lige fået en videnskabelig pris for en snedig algoritme, der mangedobler hastigheden ved beregninger af "grønne bølger" og af tidsforbrug fra en adresse til en anden.

Det sidste afhænger i sagens natur af, om foden er mest på speederen eller bremsen. Kristian Torp har suppleret indberetningerne fra de 17.000 FlexDanmark-biler med egne forsøg, hvor ambitionen er at holde en brændstofbesparende konstant hastighed:

»Det betyder, at jeg indimellem kommer lidt alternativt gennem rundkørsler, så passagerne har det som en James Bond Martini, der er "shaken – not stirred". Børnene synes, det er vældig sjovt, men min kone har ved flere lejligheder været mindre imponeret, selv om jeg argumenterer med, at vi sparer 28 ører i benzin pr. rundkørsel...« ■