

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB



ER INSEKTERNE VED AT FORSVINDE?

Mikroplast i byens vand
Det energiproducerende renseanlæg
Når leveren bliver for fed

NR.3 - 2019 JULI: 50 KR.

Vi kan ikke redde klimaet alene

**Der skal gøres noget nu for at redde planeten. Det støtter de fleste heldigvis op om.
Men adfærdsændringer er ikke nok, der er også brug for
teknologiske løsninger og politisk vilje.**

I Danmark stammer mere end en tredjedel af el-produktionen fra vindmøller. Og vi er en af verdens største cykelnationer. Faktisk lader 48 procent af danskerne bilen stå flere gange om ugen til fordel for den tohjulede. Så noget gør vi. Det er nok også grunden til, at vi i mange år har bekræftet hinanden i, at vi er klima- og miljøbevidste.

Ser man på Earth Overshoot Day, ser det desværre ikke så lysegrønt ud. Det er en beregning på, hvornår på året vi har opbrugt de ressourcer, vores planet kan nå at genskabe på et år. I Danmark har vi for længe siden opbrugt vores 2019-ressourcer. Det gjorde vi den 29. marts. På årets liste over, hvornår et land har opbrugt ressourcerne, kommer Qatar ind på førstepladsen, idet ørkenstaten allerede havde opbrugt årets ressourcer allerede den 11. februar. Og Danmark kommer ind på en 12.-plads. Ud af 135 lande! Så grønne dydsmønstre er vi ikke. Noget skal gøres. Og det kræver flere tiltag at få løst klimaudfordringerne.

Vi skal ændre adfærd

Hvis Earth Overshoot Day skal have et stort skub fremad, må vi ændre adfærd: Noget skal vi gøre lidt mindre, noget på en anden måde, og nogle få ting skal vi holde helt op med. I hvert fald som verden ser ud lige nu. Jeg forsøger selv at sætte et mindre klimaftryk: Jeg spiser næsten aldrig kød. Jeg har ombyttet min benzinbil med en elbil, og de sidste års sommerferier er foregået med tog til Sydeuropa.

Men adfærdsændringer gør det ikke alene.

Der skal nye løsninger til

Hvis vi stadig skal kunne gøre noget af det, der giver os livskvalitet, for eksempel at flyve på ferie, kræver det nye løsninger. En kollega på Aalborg Universitet (AAU) er ved at udvikle en teknologi, der gør flyrejser CO₂-neutrale. Det gør han med en bioråolie,



Jakob Stoustrup er professor samt prodekan ved Det Tekniske Fakultet for IT og Design, Aalborg Universitet.
prodekan-tech-udd@aaau.dk

som er lavet af spildevandsslam, gylle og plasticaffald, og som kan raffineres og anvendes på samme måde som fossil olie, bl.a. til flybrændstof. Med den forskel, selvfølgelig, at bio-råolien har minimale CO₂- og miljømæssige konsekvenser.

Vi har også stadig brug for strøm gennem vedvarende energi. Her tester mine kolleger sammen med en række partnere et havvindmøllefundament, som skåner havbunden og dyrelivet, så vi kan få masser af vindmøller, der ikke står for tæt på kysten, hvor de kan genere naboerne. Der arbejdes i øvrigt på et helt katalog af løsninger inden for offshore vindmølleteknologi, blandt andet for at kunne reducere energiprisen.

Når den grønne energi er produceret, skal den kunne lagres, og batterier er en glimrende lagringsteknologi. Men deres produktion sviner og skader både miljøet og klimaet.

Det gør mine kolleger på AAU Esbjerg noget ved med deres nye svampebatteri, hvor energi ophobes i biologisk materiale, der i modsætning til traditionelle batterier kan produceres og kasseres uden negative konsekvenser.

På AAU og andre danske universiteter deltag vi i et enormt, verdensomspændende netværk af videns-agenter, der i samarbejde med omverdenen udvikler, validerer og evaluerer den nære og fjerne fremtids energiløsninger. På relativt kort tid er universiteterne nemlig gået fra primært at levere teoretisk viden, til også at indgå aktivt i partnerskaber med henblik på at imødegå verdens truende udfordringer, hvoraf klimakrisen vel er den mest akutte.

Politisk velvilje og klima-kompetente unge

Vidensinstitutionerne er klar, men klimaet har brug for politikere, som dels vil gøre det nemmere for os at gøre de rigtige ting, dels vil investere i forskning i de rigtige løsninger samt tage ansvar for, at løsningerne indarbejdes i vores samfund.

Og ligeså vigtigt: Klimaet kalder på unge med de rigtige kompetencer. Vi skal have uddannet en generation af unge, som har kompetencerne til at få indrettet vores samfund på den rigtige måde. Det har vi allerede fat i på AAU, hvor de studerende altid arbejder med reelle problemer fra den rigtige verden. Blandt andet tager vi efter sommerferien fat på to nye megaprojekter, hvor flere hundrede studerende byder ind med egen faglighed i samarbejde med studerende på tværs af en lang række uddannelser for at løse globale udfordringer i samarbejde med eksterne partnere.

Vi læner os op ad Nelson Mandelas kloge ord: »Education is the most powerful weapon which you can use to change the world.«

indhold



Det vakte berettiget opsigt, da tyske forskere i 2017 rapporterede en dramatisk nedgang i biomassen for flyvende insekter i naturområder over en 27 års periode. Men hvad fortæller denne undersøgelse egentlig om insekternes tilbagegang?

8



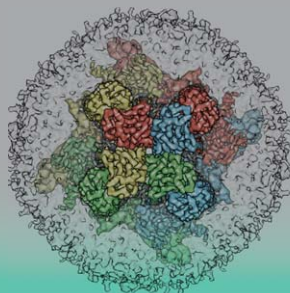
I spildevand og regnvand fra byerne findes mikroplast, der kan ende i miljøet. Men hvor meget er der af det, hvor kommer det fra, og hvordan finder og måler man plastikpartikler, man ikke kan se med det blotte øje?

14



Fedtsyrer kan virke forebyggende og måske endda modvirke type 2 diabetes ved at aktivere specifikke receptorer i cellerne, der øger insulinudskillelsen og insulinfølsomheden. En fedtsyre i pinjekerneolie har vist sig særlig effektiv til at sænke blodsukkeret hos mus, og den bliver nu testet på mennesker..

19



Ny teknologi gør, at forskere kan kortlægge membranproteiner med meget større præcision end tidligere. Opdagelserne er nødvendige for at kunne udvikle medicin mod blandt andet hud- og hjertesygdomme, men konkurrencen inden for forskningsområdet er brutal.

32

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 8 Er insekterne ved at forsvinde?
- 14 Mikroplast i byens vand
- 19 Kan fedtsyrer bruges som medicin?
- 24 Det energiproducerende renseanlæg
- 28 Når leveren bliver for fed
- 32 Kapløbet om membranproteinet "TRPM4"
- 38 Vandlopper kan disrupte marin fiskeopdræt

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 SYNSPUNKT:
Vi kan ikke redde klimaet alene
- 42 Bøger & Service
- 44 BAGSIDEN:
På jagt efter forsvundne iskapper

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

Ansvarshavende

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

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk



AALBORG UNIVERSITY
AALBORG ESBJERG COPENHAGEN



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



5.000 år gammelt massebord opklaret

Hvad skete der egentlig for 5.000 år ved landsbyen Koszyce i det sydlige Polen? Det har været et mysterium, siden en massegrav på stedet blev afdækket for otte år siden. Graven indeholdt skeletterne af 15 kvinder, børn og yngre mænd – alle dræbt med kraftige slag i hovedet, men sirligt placeret i graven og med masser af gaver til deres sidste rejse.

Nu har et internationalt forskerhold, bestående af blandt andet universiteterne i København og Aarhus og Det Arkæologiske Museum i Poznan i Polen ved hjælp af blandt andet dna-profiler og arkæologiske metoder bevist, at der er tale om et massebord på en stor familie i tre generationer.

De nye forskningsresultater er med til at afdække en meget voldelig periode i den europæiske forhistorie, som vi ikke ved meget om i forvejen.

Arkæolog Niels N. Johannsen fra Aarhus Universitet siger om de arkæologiske aspekter af fundet:

»Vi ved fra andre gravfund, at der udspillede sig voldelige konflikter mellem forskellige



Ligene var lagt pænt side om side i graven og med gaver til deres sidste rejse. Men alle var blevet dræbt med slag i hovedet. Nu er mysteriet løst. Rekonstruktion: Michał Podsiadło.

befolkningsgrupper på det tidspunkt. Det er bare ikke dokumenteret så klart før. Samtidig viser vores studie med al tydelighed, at familiesammenhold og omsorg betød meget for de her mennesker for 5.000 siden – både i livet og i døden.«

Evolutionsbiolog Morten Allentoft fra Københavns Universitet siger:

»Ved at analysere arvmassen har vi kunnet kortlægge alle familierelationerne i massegraven, og vi kan se, at mødre er lagt ved siden af deres børn og brødre ved siden af hinanden. De folk, som har begravet de døde, har altså kendt dem godt. Derudover kan vi se, at de fleste fædre i den store familie mangler i graven. Vores bud er, at de ikke var hjemme på bopladsen, da massakren skete, men senere returnerede og begravde deres familier på en respektfuld måde.«

Også fra Polen lyder der entusiastiske ord fra professor og direktør for Det Arkæologiske Museum i Poznan, Marzena Szmyt. Hun pointerer, at resultaterne i høj grad skyldes det internationale samarbejde mellem eksperter indenfor forskellige områder.

Historien er offentliggjort i det amerikanske videnskabelige tidsskrift *Proceedings of The National Academy of Sciences* (PNAS).

Svend Thaning, Københavns Universitet.

Bitcoin giver CO₂-aftryk som Hamborg

Brugen af den virtuelle valuta Bitcoin medfører et CO₂-aftryk svarende til udledningen fra en stor by som Hamborg. Det har forskere fra det tekniske universitet i München beregnet i det hidtil mest detaljerede studie af denne kryptovalutas energiforbrug. Selvom Bitcoins kun eksisterer som virtuelt betalingsmiddel, er energiforbruget til at holde systemet kørende særdeles reelt. For at en overførsel af Bitcoins kan udføres og valideres, skal et matematisk problem løses af en vilkårlig computer i det globale Bitcoin-netværk – et netværk enhver kan tilslutte sig. Netværket belønner efterfølgende problem-løserne med Bitcoins. Computerkapaciteten brugt i denne proces – kaldet Bitcoin-mining – er øget kraftigt de senere år, og alene i 2018 blev den firedoblet.

Energiforbruget forbundet med Bitcoin (og tilsvarende kryptovalutaer) har længe været problematiseret, men det er ikke en enkel sag at beregne, præcist hvor stort det er. I de nye beregninger af Bitcoin-systemets strømforbrug har Christian Stoll og kolleger været dybt nede i detaljerne om, hvilken hardware der bruges til Bitcoin-mining og i hvilken grad der er tale om enkelte Bitcoin-farmere eller storskala-farme, som er sat op af professionelle de senere år.

Forskerne beregnede, at det årlige strømforbrug af Bitcoin-systemet per november 2018 var cirka 46 TWh. I omregningen af dette strømforbrug til et CO₂-aftryk har forskerne taget hensyn til, hvor Bitcoin-farmerne er lokaliseret. Det viser sig, at 68 % af Bitcoin-minerne er lokaliseret i Asien, 17 % i Europa og

15 % i Nordamerika, og forskerne kombinerede efterfølgende dette med statistikker for carbonintensiteten af elproduktionen i de forskellige lande (altså i hvilken grad den er baseret på fossile brændsler, der giver stor udledning af CO₂).

Det samlede resultat blev, at Bitcoin-systemet har et CO₂-aftryk på mellem 22 og 22,9 megatons om året, hvilket altså svarer til udledningen fra en by som Hamborg eller Wien. Forskerne mener, at et CO₂-aftryk i denne størrelsesorden gør det værd at diskutere muligheden af at regulere mining af Bitcoin og andre kryptovalutaer i regioner, hvor elproduktionen er særligt CO₂-intensiv.

CRK, Kilde: www.TUM.de, DOI: 10.1016/j.joule.2019.05.012

Ny teknologi sikrer rent fosfor fra spildevand

Forskere fra Syddansk Universitet har udviklet en teknologi, som kan vride ren fosfor ud af spildevand. Fosforens kvalitet er så høj, at den lever op til de standarder, som kræves for at blive anvendt som foderfosfater til dyrefoder.



Derfor arbejder landets renseanlæg målrettet på at opfange og genanvende fosfor i spildevandet. Hidtil har fosforen haft en kvalitet, som gjorde, at den kun kunne sælges som gødning, men den rene fosfor har en højere salgspris og kan gøre genanvendelse af fosfor til en god forretning.

Professor Haiyan Qu fra SDU Chemical Engineering fortæller, at det gennem kemiske processer er lykkedes at skabe en ren form for calciumfosfat, hvor indholdet af tungmetaller er under det niveau, som kræves for, at fosforen kan blive godkendt til foderindustrien. Derudover er teknologien så effektiv, at man kan genanvende 90 procent af fosforen.

Fosfor er et livsnødvendigt mineral, og hvert år importerer dansk landbrug cirka 12.000-13.000 tons foderfosfater, som primært

Fosfor i spildevand udgør en værdifuld ressource. Foto: Colourbox.

tilsættes grises og kyllingers foder. Samtidig gøder landmænd jorden med fosfor, så afgrøderne får de bedste vækstbetingelser.

Men fosfor er også en af de væsentligste årsager til iltvind i vandløb, søer og fjorde, fordi det også får algerne til at gro. Samtidig er fosfor en begrænset ressource, og fosforreserverne er ved at løbe tør. Fosfat har siden 2014 været på EU's liste over kritiske råstoffer.

På sigt tænker Haiyan Qu, at den rene fosfor fra spildevandet også kan blive godkendt til fødevareindustrien, og hun søger nu patent på teknologien OxyCrySP. Men indtil videre afholder industrien sig fra at investere i en opskalering og videreudvikling af teknologien. For selv om bæredygtighed og genanvendelse står højt på den politiske dagsorden, betyder EU-regler, at fosfor udvundet af spildevand ikke må bruges i produktionen af foderprodukter.

Af Birgitte Dalgaard, SDU

Fornem robotpris til studerende

En gruppe ingeniørstuderende fra Aarhus Universitet har med en autonom polarbåd i maj måned vundet en fornem førsteplads i den internationale konkurrence i robotdesign, Engineering Impacts Awards. Den autonome polarbåd ARCAB (der står for Arctic Research Center Autonomous Boat) er designet til ekspeditioner i iskoldt hav. Den kan blandt andet måle vanddybde, saltindhold, marin vækst og strømningsforhold med meget stor præcision og dermed hjælpe forskerne til at blive klogere på Grønlands økosystem.

Det er Alexander Fürsterling, Simon Sejer Pedersen, Mathias Skovby og Lasse Vesterled – alle fra diplomingeniøruddannelsen i Maskinteknik ved Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet – der står bag både design, konstruktion og programmering af ARCAB. De har udviklet båden i forbindelse med et se-



Den lille autonome båd: ARCAB. Foto: Mathias Skovby.

mesterprojekt til universitetets klimaforskere på Arctic Research Centre.

Båden er designet til at indsamle data af en meget høj kvalitet og i meget store mængder uden at forstyrre målingerne på den måde, som større bemandede skibe gør. Den er på størrelse med en lille kuffert, er fremstillet i glasfiber og designet til at klare de barske arktiske forhold.

ARCAB sejler efter foruddefinerede GPS-koordinater, men er samtidig forsynet med et lidarsystem, som gør den i stand til at undvige forhindringer i vandet som isbjerge, skibe eller bøjer.

Elektronikken, der styrer ARCAB, er pakket i en vandtæt kasse på det lille dæk, og motorcontrolleren er placeret i skroget, som køles ned af det kolde vand gennem en aluminiumsfinne.

De studerende vandt med deres robot i kategorien Global Engineering Impact Peoples Choice. Desuden løb de med en flot andenplads i årets Student Design Competition for ingeniørstuderende fra universiteter over hele verden. I juni måned modtog ARCAB også Sustainable Development Goal Award i kategorien research

CRK, Kilde: ingenioer.au.dk

Gamle fjernsyn bliver til isolering

Klimadebatten raser, og der kommer større og større krav til, at vi hver især bruger mindre energi. En af de store syndere, når det gælder spild af energi, er dårligt isolerede huse, og derfor vil der fremadrettet blive stillet større krav til de materialer, som byggefirmaer benytter, når de konstruerer vores boliger. I den sammenhæng har forskere fra Aalborg Universitet udviklet et nyt og meget robust isoleringsmateriale af gamle fjernsyn og CO₂.

Dette nye isoleringsmateriale, der hedder celleglas, kan isolere lige så godt som mineraluld og er samtidig så robust, at det i sig selv kan benyttes som en del af den bærende konstruktion i bygninger. Sammenligner man med isolering med mineraluld, kan celleglas mindske tykkelsen på en isoleret mur med 12 til 15 centimeter og stadig have den samme grad af isolering.

» Med celleglas kan vi lave tyndere ydermure med samme isoleringsevne, eller vi kan lave samme tykkelse mure med bedre isoleringsevne. Det gør det lettere at følge med lovgivningens krav til bedre isolering og mere energivenlige huse,« forklarer Martin Bonderup Østergaard fra Institut for Kemi og Bioviden-



Martin Bonderup Østergaard med en klump celleglas. Foto: Camilla Kristensen, AAU.

skab ved Aalborg Universitet. Han har netop forsvaret sin ph.d.-afhandling om emnet. Celleglas er faktisk ikke en helt ny form for isoleringsmateriale, da det allerede nu benyttes til blandt andet at isolere rørsystemer under jorden og fundamenter under huse. Celleglas kan bedst sammenlignes med en hård tavlesvamp af glas, hvor lufthullerne i glasstrukturen er fyldt ud med en gas. Det giver isoleringsmaterialet særdeles attraktive egenskaber i forhold til både at isolere og skabe struktur. Alligevel har materialet endnu

ikke vundet indpas som det foretrukne isoleringsmateriale i forbindelse med husbyggeri. Det kan dog komme meget snart.

I sin forskning har Martin Bonderup Østergaard udviklet forbedringer af celleglas, som vil gøre det mere attraktivt som isoleringsmateriale. Han har blandt andet undersøgt, hvordan glassammensætningen og gasarten påvirker de isolerende egenskaber for celleglas. Den del af hans forskning viser, at specielt billedrørsglas fra gamle fjernsyn giver celleglasset rigtig god isoleringsevne, mens CO₂ ligeledes isolerer særdeles godt. Billedrørsglas har en lavere varmeledningsevne end eksempelvis vinduesglas, mens CO₂ holder bedre til at holde varmen inde end almindelig atmosfærisk luft, da varmen har sværere ved at bevæge sig ud gennem CO₂.

»Der er et miljømæssigt perspektiv i forhold til at genanvende gamle billedrør til at lave isoleringsmaterialer til huse. En af mine kollegaer har lavet nogle beregninger, som viser, at vi på nuværende tidspunkt har nok gamle billedrør til at kunne isolere med vores form for celleglas i mange år ud i fremtiden,« siger Martin Bonderup Østergaard.

Sanne Holm Nielsen, AAU

Vi lever længere og ældes langsommere

Tilbage i 2002 afsluttede forskere fra SDU et studie, hvor de lod en gruppe mennesker se på 382 fotografier, som netop var taget, af personer i alderen 70 til 90 år. Gruppen skulle gætte, hvor gamle personerne på de forskellige fotos var. Den korrekte gennemsnitsalder var knap 76 år, og gruppen gættede stort set rigtigt.

10 år senere blev de samme fotos vist frem, og igen blev gruppen bedt om at gætte alderen på de personer, de så på billederne. Denne gang var gennemsnittet af gruppens gæt knap 79 år, altså næsten 3 år højere end den første gruppes gæt. I 2012 blev personerne på fotografierne fra 2002 således skønnet til at være ældre, end de egentlig var. Gruppen, der havde set billederne, havde altså en forventning om, at der burde

være gået flere år, før man så ud som personer på billederne.

En af grundene til, at man i 2012 vurderede alderen af "fotomodellerne" højere er, at danskerne i dag lever længere og er sundere. Det mener forsker Ulrich Steiner fra Biologisk Institut.

»Vi lever længere og denne øgede levetid går hånd i hånd med ændringen i, hvordan vi lever. Vi får flere og flere sunde leveår,« siger han.

Gruppens gæt i 2012 på de knap 79 år har vist sig at stemme overens med den øgede levetid, danskerne kan forvente at have. På 10 år steg danskernes forventede levetid nemlig med cirka 2,5 år, hvilket passer med de knap 3 år, som gennemsnitsgættet var steget med fra 2002 til 2012.

»Vi var overraskede over at finde sådan et tæt forhold mellem, hvor gamle folk ser ud, og hvor længe de forventes at leve,« siger Steiner.

Den gennemsnitlige levealder for mænd var i 2012 cirka 78 år, mens den for kvinder var omkring 4 år længere. Går man 10 år tilbage i tiden, var disse tal 2-3 år lavere (3 år for mænd og 2,25 år for kvinder). Studiet viste også, at der generelt blev skudt mindre ved siden af i 2012, når det drejede sig om at vurdere mænds alder (kun 2,6 år forkert), mens kvinder blev aldersbestemt hele 3 år forkert.

Studiet er for nylig publiceret i *Journal of Gerontology: Medical Sciences*.

Majken Brahe Ellegaard Christensen, SDU

Den perfekte skateboardrampe

Arets modtager af RUC Challenge-prisen for juniorer er selv hverken skater- eller snowboarder. Han interesserer sig for matematik. Alligevel har Adam Bøgelund Hansen fra Skt. Josefs skole i Roskilde i sit vinderprojekt konstrueret den optimale halfpipe – den rampe som skateboardere og snowboardere kører på. Idéen kom, da han så skaterne konkurrere i X-games:

»Jeg tænkte, at hvis man udskifter de sædvanlige kurver på halfpipen med en særlig matematisk kurve, der hedder brachistochron-kurven, vil tyngdekraften hjælpe skaterne til hurtigere gennemførelsestid, højere hop i begge sider og maksimal tid i luften. Hvis altså de er dygtige.«

Adam Bøgelund Hansen modtog prisen fra RUC 30. april foran flere hundrede gæster i Bella Center. Prisen er en del af konkurrencen Unge Forskere, der er Danmarks største naturvidenskabelige talentkonkurrence. I alt



Adam Bøgelund Hansens model af den ideelle skateboardrampe.
Foto: Torben Jarl Jørgensen.

har næsten 2000 projekter deltaget i konkurrencen.

RUC Challenge-prisen uddeles for første gang i år og gives til et projekt, der anvender naturvidenskab til løsning af virkelighedens problemer. Roskilde Universitet ønsker med prisen at motivere unge til at undre sig og finde kreative løsninger med en naturfaglig tilgang.

Adam Bøgelund Hansen har i sit projekt været i dialog med professionelle skatere, blandt andet Rune Glifberg, der flere gange er kåret som verdens bedste skater og som i dag ejer et firma, der designer skate-parker. Det har bekræftet Adam Bøgelund Hansen i teorien om, at konstruktionen af halfpipes kan blive bedre. For i dag mangler der en fælles standard for, hvordan man konstruerer halfpipes til konkurrencer.

»De professionelle joker faktisk med, at der er flere konstruktører af halfpipes, end der er skatere til at køre på dem. Halfpipes er i dag konstrueret ud fra, hvad en tilfældig skater synes føles bedst. Jeg kommer med et design bygget på fakta, som jeg matematisk kan bevise er bedre end dem, skaterne har i dag«, fortæller Adam Bøgelund Hansen.

eret ud fra, hvad en tilfældig skater synes føles bedst. Jeg kommer med et design bygget på fakta, som jeg matematisk kan bevise er bedre end dem, skaterne har i dag«, fortæller Adam Bøgelund Hansen.

For Adam Bøgelund Hansen er næste trin at bygge en prototype sammen med en konstruktør og undersøge, om han kan tage patent på sit design.

Forskere skal studere “tipping points”

Selvom klimamodellerne gennem de seneste 30 år er blevet væsentlig bedre, er de stadig ikke virkelighedstro. Specielt ikke, når det gælder store klimaændringer eller tipping points, hvor klimaet i løbet af relativ kort tid måske vil løbe løbsk. De store klimamodeller i dag er nemlig kun gearet til at beregne vores klima, som vi har kendt det de seneste 100 år. De tager højde for en stabil, lineær klimaudvikling, men ikke pludselige drastiske ændringer. Derfor åbner Københavns Universitet et nyt internationalt forskningscenter, der blandt andet skal udvikle bedre klimamodeller, så vi med større sikkerhed kan forudsige risikoen for tipping points fremover.

Peter Ditlevsen, fysiker og klimaforsker ved Niels Bohr Institutet og leder af det nye forskningscenter TiPES, som står for *Tipping Points in the Earth System*, siger:

»Blandt forskerne stiger frykten for tipping points. Det er altså *points of no return*, hvor



Foto: Colourbox.

klimaet ændrer sig drastisk, uanset hvad vi gør. Om vi så kunne suge al CO₂ ud af atmosfæren igen, ville vi alligevel være på vej ud over afgrunden. Det fænomen ved vi alt for lidt om. Det er afgørende, at vi kan give verdens beslutningstagere bedre besked. For lige nu er politikerne kun klædt på til at reagere på en temperaturstigning op til to grader,

der foregår i et jævnt, glidende tempo.«

Et kendt eksempel på et muligt tipping point er afsmeltningen af Grønlands indlandsis. Det vil, ifølge forskerne, skabe en kædereaktion med blandt andet havstigninger, oversvømmelser og ændrede havstrømme. Men vi er ikke i stand til at forudsige, hvornår det måske vil ske. Ingen ved reelt, om vendepunkterne ligger ved en temperaturstigning på 2 eller 1,5 grader eller andre steder på skalaen.

I forhistorien findes der adskillige eksempler på tipping points. For eksempel under den seneste istid for cirka 12.000 år siden, hvor gennemsnits-temperaturen steg med 10-15 grader i løbet af 10 år. Perioden op til disse tipping points lignede den jævne klimaudvikling, som vi gennemgår nu. Derfor vil forskerne også se nærmere på tidligere tiders klimaskift blandt andet ved hjælp af data fra iskerneprøver.

Maria Hornbek, Københavns Universitet.



ER INSEKTERNE VED AT FORSVINDE?

Det vakte berettiget opsigt, da tyske forskere i 2017 rapporterede en dramatisk nedgang i biomassen for flyvende insekter i naturområder over en 27 års periode. Men hvad fortæller denne undersøgelse egentlig om insekternes tilbagegang?

“Insekterne dør og ragnarok er nær!” Sådan omtrent har det lydt gentagne gange de seneste år, ikke mindst siden en tysk undersøgelse viste 75 % nedgang i biomassen af flyvende insekter på blot 27 år. Men hold lige apokalypsens flyvende heste et øjeblik, og lad os se på, hvad det egentlig var undersøgelsen viste. Og lad os dernæst alvorligt overveje, hvad det kan betyde.

Lad mig allerførst slå fast, hvad vi hinsides al rimelig tvivl ved om insekttilbagegangen. Mangfoldigheden af arter går nedad. Omkring en tredjedel af de insektarter, der lever i Danmark, er tæt på at forsvinde fra landet. Alene af dagsommerfugle er 11 arter ud af 109 uddøde fra landet siden 1950. Og det er ikke væltet ind over den sydlige grænse med nye arter, som kunne kompen-

sere for tabet. Sådan ser billedet også ud i alle landene omkring os. Vi ved også om enkelte insektarter, der tidligere forekom i store mængder, at de er gået kraftigt tilbage i bestandsstørrelse. Almindelig oldenborre var før år 1900 ekstremt talrig. Arten var kendt af ethvert barn og en fast bestanddel af “persongalleriet” i H.C. Andersens eventyr. Fordi oldenborrelarverne optrådte som skadedyr på afgrøder organiseredes i 1880'erne en offentligt betalt bekæmpelseskampagne, som selvfølgelig blev dokumenteret behørigt. Alene i året 1887 indsamledes 3,75 millioner kg levende oldenborrer, svarende til cirka 5 milliarder individer. Arten findes stadig hist og her i landet, men slet ikke i datidens mængder. Denne enorme bestandsnedgang må afgørende have ændret fødegrundlaget for en række fuglearter.

Men – og dette er vigtigt – masseforekomst af én art er i sagens natur ikke det samme som høj mangfoldighed af forskellige arter. Og omvendt kan der godt ske et stort tab af sjældne arter, uden at hyppigheden af de almindelige arter ændres. Derfor skal arts mangfoldighed ikke blandes sammen med den samlede insektbiomasse.

Det tyske insektstudie

Det tyske studie fra 2017 er ikke det eneste, som peger på insekternes krise, men lad os alligevel have hovedfokus på det, fordi det fik så stor og berettiget opmærksomhed internationalt. De tyske entomologer, frivillige amatører i Krefelds Entomologiske Selskab, havde gennem 27 år opsat såkaldte Malaise-fælder i naturområder, især omkring byen Krefeld i Nordrhein-Westfalen. En Malaise-fæl-

Forfatteren



Hans Henrik Bruun er lektor ved Biologisk Institut, Københavns Universitet, hvor han forsker og underviser i biologisk mangfoldighed.
hhbruun@bio.ku.dk



Malaisefælde i aktion. Nogle har måske hørt om fældetypen gennem romanen *Fluefælden* af Fredrik Sjöberg. Man aner, at der står gule fangbakker ved foden af Malaise-fælden, i hvis øverste hjørne fangstflasken sidder (indsat foto). I baggrunden er en feltassistent ved at sætte en faldfælde i jordoverfladen. Fotos: Lars Skipper.



Figuren viser plot af 1965 insektarter fanget på 130 steder i Danmark, afbildet fra venstre mod højre som hyppigheden ($\log_{10}$ til individtallet) af hver art fra den talrigeste til den sjældneste. I praksis var der 519 "sjældneste" arter, der alle kun blev fundet et enkelt individ af. Der

blev fanget 4849 individer af den talrigeste art – skovskarnbasse – hvilket er lige så mange som der blev fanget individer af de 1403 mindst hyppige arter tilsammen. Insekterne blev fanget ved hjælp af tre forskellige fældetyper, men her er tallene puljet. Den observerede

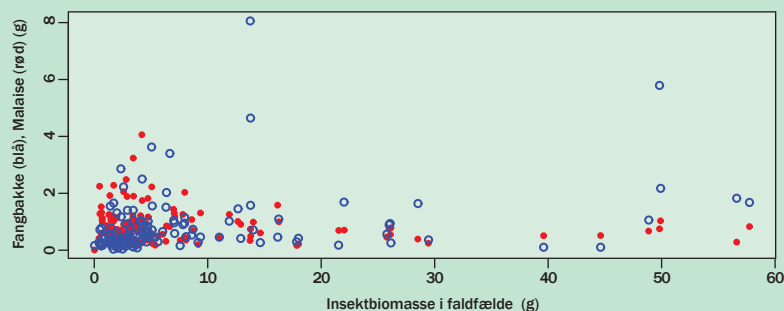
sammenhæng – "det er sjældent at være almindelig, det er almindeligt at være sjælden" – er en helt generel økologisk lovmæssighed. Arter, der står opført på en rødliste over truede arter, befinder sig altid langt ude til højre i kurvens hale. Data kommer fra Biowide-projektet.

de er en fælde, der fungerer omtrent som en åluruse. Insekterne flyver ind i en halvgennemsigtig "teltvæg". De insekter, der søger opad ved mødet med denne forhindring, ledes op under et "teltag" og ender til sidst i en flaske, hvor de drukner. Denne flaske kan så udskiftes med jævne mellemrum – for eksempel hver tiende dag. I de indsamlede flasker er der så en suppe af blandede insekter. I laboratoriet blev hver prøve drænet igennem en sigte og vejlet og derefter gemt i alkohol. Siden var

det meningen, at dyrene skulle sorteres i grupper og bestemmes til art, men det arbejde er indtil videre ikke kommet ret langt, så det er kun resultaterne vedrørende den samlede vægt af alle insektindivider tilsammen, som er blevet afleveret. Fælderne stod ikke de samme steder hvert år – det anså man for uforeneligt med områdernes naturbeskyttelsesstatus. Men typen af habitater var ret konstant, så resultaterne fortæller meget om den generelle udvikling i landskabet.

Inden vi kigger på resultaterne, bliver vi lige nødt til at stille skarpt på begrebet "flyvende insekter". Det er nemlig ikke en slægtskabsbetegnelse. En Malaise-fælde fanger langt fra alle slags insekter. Typisk består fangsten mest af tovinger, altså fluer og myg, og årevinger, især små hvepse. Listen over insekter, der ikke fanges ret ofte i Malaise-fælden, er lang. Først og fremmest er det en passiv fælde, der fanger aktive dyr. Jo større flyveaktivitet, jo større er sandsynligheden for at gå i fælden. Det vil sige, at in-

Eksempel på en nedgravet faldfælde.
Foto: Lars Skipper.



Insektfælder

Forskellige fælder fanger forskellige insekter. I det danske forskningsprojekt Biowide fangede vi i årene 2014-2015 insekter på 130 steder med tre fældetyper: Faldfælder, Malaise-fælder og fangbakker. Faldfælder (se foto) fanger overfladeaktive dyr som løbebiller, jagtedderkopper og skarnbasser. Fangbakker fanger især bier og andre blomstersøgende insekter. Malaise-fælder

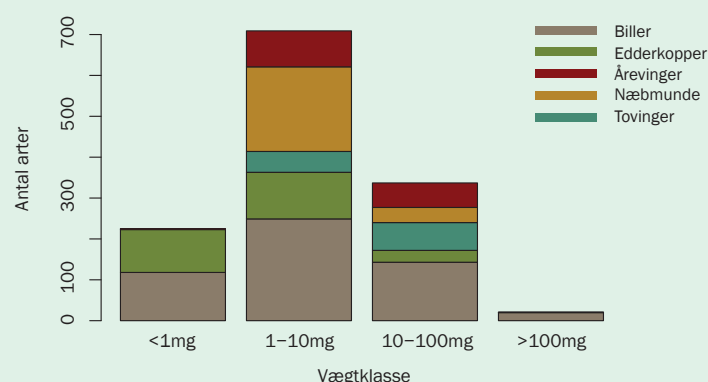
fanger især dagaktive, flyvende resursspecialister. Vi vejede ikke fangsten, hvilket har ærgret os siden. Men ud fra de lange lister over dyr bestemt til art fra hver prøve og standardlister over hver insektarts kropsvægt, har vi estimeret vægten af den samlede fangst.

På tværs af de meget forskellige habitattyper i Biowide fangede

faldfælderne 15-20 gange så stor insektbiomasse som fangbakker (blå cirkler) og Malaise-fælder (røde prikker) hver for sig gjorde. Der var ingen korrelation mellem de tre fældetyper fangst af insektbiomasse. Faldfælder med en samlet fangst på mere end 25 g insektbiomasse skyldes helt overvejende forekomst af én art, den 110 mg tunge skovskarnbasse.

Hvad vejer en bille?

I tørvægt vejer vores største løbebille, læderløber, cirka 530 mg, en skovskarnbasse cirka 110 mg og græshoppen vortebider kan veje over 1 g. De fleste insektarter er dog meget mindre end de nævnte giganter. Af de 1340 insektarter, som blev bestemt til art i Biowide-projektet, og som vi kender kropsvægten for, har de fleste en kropsvægt mellem 1 og 10 mg. Fordelt på de største grupper ser fordelingen ud som på figuren. Langt de fleste arter af tovinger og årevinger vejer mindre end 1 mg, men de blev



ikke bestemt til art – det er ofte meget vanskeligt. Søjlen for insekter

med kropsvægt <1 mg er derfor i virkeligheden alt for lille.

sekte, der mest sidder stille uden på planterne eller inden i dem (for eksempel bladlus og træbukke) kun undtagelsesvist fanges. Natsværmere fanges ikke, men skal lokkes til aktive fælder med lys. Insekter, der kravler omkring på jordoverfladen og udnytter et bredt spektrum af resurser (for eksempel myrer og løbebiller), ser man ikke meget til i Malaise-fælder. Endelig er visse insekter så ferme luftakrobater,

at de næsten altid flyver udenom fælden, for eksempel guldsmede og dagsommerfugle. Sammenlagt kan man sige, at en Malaise-fælde overvejende fanger mobile resursspecialister. Disse betragtninger antyder også det simple faktum, at insekterne har så forskellig en livsstil på tværs af grupper, at der ikke findes én universal metode til at fange insekter med, men en stribe komplementære.

Forskerne, der analyserede på amatør entomologernes møjsommeligt indsamlede data, havde altså data på den samlede biomasse af "flyvende insekter" indsamlet med en standardiseret metode gennem en længere årrække, uden dog at have data på hvilke insektarter, -familier eller -ordener, den indsamlede biomasse tilhørte. Og det, de fandt, var, at biomassen af én dags fangst i en Malaise-fælde gennem-

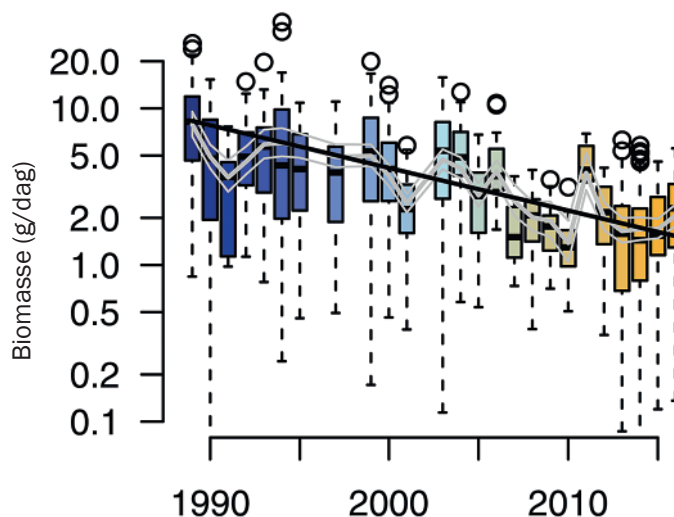
snitligt var faldet med 76 % over en periode på 27 år og endnu mere i højsommeren, hvor der plejer at være mest svirren og summen af insekter i luften. Resultatet vakte stor og berettiget opsigt.

Resultatet blev i offentligheden og pressen tolket som evidens for en brat nedgang i hyppigheden af alle insektarter og et tab af mangfoldighed af arter generelt i et landskab, der minder meget om det danske. Men som allerede vist ovenfor er der ikke nogen enkel relation mellem artsrigdom og biomasse. Eftersom de indsamlede insekter endnu ikke er blevet bestemt til art eller familie, kan vi reelt ikke vide, om ændringen i flyvende insekters biomasse har noget at gøre med det tab af arts-mangfoldighed, som vi med sikkerhed ved er sket i samme periode.

Tre mulige tolkninger af resultaterne

Den ligefremme tolkning – lad os kalde den hypotese 1 – antager, at den observerede biomassenedgang skyldes en reel nedgang i biomassen af alle slags insekter uanset artsgruppe. Den hypotese kan vi godt med det samme afskrive som ikke understøttet af data. Alene myrer, der ikke fanges i Malaise-fælder, anslås på vore breddegrader typisk at udgøre mellem en tredjedel og halvdelen af den samlede insektbiomasse i de fleste økosystemer. Blandt de øvrige insekter udgør fangsten i Malaise-fælder typisk en tiendedel af fangsten i faldfælder, regnet i biomasse. Så derfor – og ikke for at bagatellisere den observerede nedgang – kan resultatet helt sikkert *ikke* fremskrives til en verden helt uden insekter om få år, som det ellers er sket i den offentlige debat.

En anden mulig forklaring, som vi kan kalde hypotese 2, lyder, at den viste nedgang fortrinsvis har ramt "flyvende insekter", mens andre slags insekter har vist konstans eller fremgang, og den samlede insektbiomasse dermed er omtrent uforandret. Altså, en ændret balance. Insekterne udgør en dyregruppe



Biomasse af insektfangster i Malaise-fælder i Tyskland over en periode på 27 år – målt som gram fanget per dag. Med udgangspunkt i år 1990 er nedgangen til år 2015 på hele 76 %. Fra Hallmann et al 2017. CC BY-SA 4.0.

med en enorm diversitet i livsformer. For hvilken som helst næringskilde, man kan komme i tanker om, er der insektarter, som er tilpasset til at udnytte. Derfor er det ikke umiddelbart rimeligt at forestille sig, at den samlede mængde af "insektmad" i landskabet er faldet. Der er ret sikkert kommet mere plantebiomasse, både levende og dødt, på vejrabatter, græsmarker, enge, moser, skove osv. Men der også er helt sikkert over de seneste 30 år kommet langt færre blomster med pollen og nektar (ren sukker og protein) og langt mindre dyregødning (som har næsten samme næringsindhold som mysli med mælk). Insekter, der opsøger blomster eller gødning, er mobile resurse-specialister, altså dem som fortrinsvis fanges i Malaise-fælder. Insekter, som lever af levende eller døde plantedele, er typisk lavmobile. Denne hypotese kan ikke falsificeres på basis af de tyske data. Men der er nogle uafhængige observationer, der taler imod den. For eksempel ser også biomassen af store løbebiller ud til at være i tilbagegang i Storbritannien, hvor denne insektfamilie er omfattet af et overvågningsprogram. Og også for natakter sommerfugle er der påvist tilbagegang i biomassen i England. Denne forklaring er derfor ikke så troværdig.

En tredje mulig forklaring (hypotese 3) siger, at der er sket en reel ned-

gang i biomassen for mange grupper af insekter, men en nedgang, som primært skyldes nedgang i antallet af store tunge insektarter som torbister, træbukke og sværmere, hvoraf mange arter er ganske mobile og luftbårne i voksenstadiet. Denne nedgang kan snildt dække over konstans eller fremgang i biomassen af arter med lille kropsvægt, hvilket immervæk udgør langt hovedparten af insektfaunaen. En typisk stor løbebille vejer omkring 200 mg, en typisk svirreflue omkring 10-20 mg. Derimod vejer individer af småcikader, snudebiller og blomstertæger typisk nogle få mg, mens individer af svampemyg, galmyg, dansemyg og sorthvepse – nogle af vore artsrigeste insektfamilier – vejer langt mindre end 1 mg. Der går altså hundredevis af de små insekter på ét individ af en art med stor kropsvægt. Derfor kan tilbagegang for store insekter godt forklare de tyske resultater. Og her er der ikke rigtigt nogen uafhængige data, som taler imod.

Mangel på store træer og lort

Hvad kan årsagerne til den voldsomme tilbagegang for flyvende insekter så være? De tyske forskere kunne ikke umiddelbart finde belæg for, at insekticider i agerbruget var årsagen. De havde jo også undersøgt naturområder, der ikke sprøjtes direkte. Men der kan sagtens være randeffekter af



Eksempler på store insekter: Almindelig oldenborre (300 mg), moskusbuk (140 mg), vortebider (1100 mg), grøn guldbasse (350 mg) og snerresværmer (900 mg).

Fotos: Jens Chr. Schou.

agerdyrkningen ind på naturområderne, ligesom agerjorden kan "lokke" insekter ud fra naturområderne uden at byde på andet end den visse død. Det gælder for eksempel for jordbier, der graver reder i agerjord, der så pløjes inden næste generation kommer på vingerne (det kaldes "en økologisk fælde"). Men en engelsk undersøgelse, der fokuserede på forandringen for 26 insektgrupper i dyrkede marker over en 42-årig periode, fandt ingen systematiske ændringer. Derfor er landbrugets markdrift ikke umiddelbart den hovedmistænkte, selvom det selvfølgelig er helt oplagt, at tætstående afgrøder, pløjning og brug af insekticider ikke giver insekter mange livsmuligheder på selve dyrkningsfladen. De tyske forskere havde også klimaforandringer i kikkerten, men heller ikke det viste sig som en oplagt forklaring på nedgangen i insektbiomasse. Men hvad så?

Det er i så fald sandsynligvis forandringer på selve naturarealerne, der har forårsaget tilbagegangen. Hvad har påvirket naturområderne i landskabet specifikt? Hypotese 3 ovenfor – den om at nedgangen især skyldes tab af store insekter – peger især på følgende faktorer: Mangel på store træer, levende såvel som døde, og måske især de

insektbestøvede arter som slåen, tjørn, løn og lind. I det hele taget er der mangel på blomsterressurser i det gængse landskab. Oplagt er også mangel på lort, altså en konstant forsyning over hele året af lort fra store dyr, som har ædt grovfoder og ikke er blevet medicineret mod indvoldsorm. Store træer, blomster og gødning har det til fælles, at det er insektmad, som er fordelt pletvis i landskabet – det fordrer mobilitet hos insekterne – men som til gengæld er højoktan insektmad, som tillader insekter med stor kropsvægt at udvikle sig. Disse levesteder fremmer specifikt store mobile resursspecialister, altså den slags insekter, som man fanger i Malaise-fælder. Og der meget, der taler for, at netop sådanne dyr og føderesurser er blevet meget sjældnere i det effektivt udnyttede landskab.

Fokus på livsmuligheder fremfor dødsårsager

Vi ved endnu ikke, hvad årsagen eller årsagerne til biomassenedgangen er. Men hvis hypotese 3 om de tunge insekter har noget på sig – og det er der en del, der tyder på – så har nedgangen givetvis også haft konsekvenser for insektædende fugle og flagermus. Og disse grupper har da også oplevet stor og veldokumenteret tilbagegang i hyp-

pighed. I dag skal vi så langt væk som til Spaniens store græsningslandskaber med spredte gamle træer, blomstermylder og rigelig gødning året rundt for at finde fuglearter som biæder og ellekrage i stabile bestandsstørrelser. Foruden gribbe, der flokkes om ådsler af pattedyr (men som man heldigvis ikke fanger i Malaise-fælder).

Men er det intensive landbrug så ikke kernen til problemet? Både ja og nej. Landbrug og skovbrug optager næsten al plads i Danmark. I vore nabolande er situationen omtrent den samme. Det levner næsten igen plads til natur og meget begrænsede levemuligheder for andre arter end mennesket og dets afgrøder og husdyr. Det er – overordnet set – kernen i problemet med biodiversitetskrisen, og sandsynligvis også årsagen til nedgangen i insektbiomasse. Men løsningen på problemet, som analysen her fører frem til, er langt mere omfattende end en mindre justering af landbrugets dyrkningsmetoder. Den kræver, at vi på et pæn del af landarealet helt holder op med at dyrke, både landbrug og skovbrug, og lader natur være natur. Og løsningen kræver også, at vi flytter fokus fra, hvad insekter dør af, til fokus på, hvad der giver dem livsmuligheder. ■

Videre læsning
[1] Hallmann, C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hören T., Goulson D., de Kroon H. (2017) More than 75% decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12: e185809.

LÆS FYSIK PÅ AAU

SE MERE PÅ [SCIENCE.AAU.DK](https://science.aau.dk)

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

MATHIAS HEDEGAARD KRISTENSEN, KANDIDAT I FYSIK

MAKE IT REAL PÅ AAU

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



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

Prøveindsamling af overfladevand fra et regnvandsbassin. Via et pumpesystem kan vi indsamle prøver på op til flere kubikmeter. Foto: Fan Liu.

MIKROPLAST I BYENS VAND

I spildevand og regnvand fra byerne findes mikroplast, der kan ende i miljøet. Men hvor meget er der af det, hvor kommer det fra, og hvordan finder og måler man plastikpartikler, man ikke kan se med det blotte øje? Det er spørgsmål, artiklens forfattere arbejder på at besvare.

Om forfatterne:



Kristina Borg Olesen er ph.d.-studerende ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. krbo@civil.aau.dk



Marta Simon er ph.d.-studerende ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. msi@civil.aau.dk



Aviaja Anna Hansen er procesingeniør ved Krüger A/S. avh@kruger.dk



Jes Vollertsen er professor ved Aalborg Universitet, sektion for Vand og Miljø. jv@civil.aau.dk

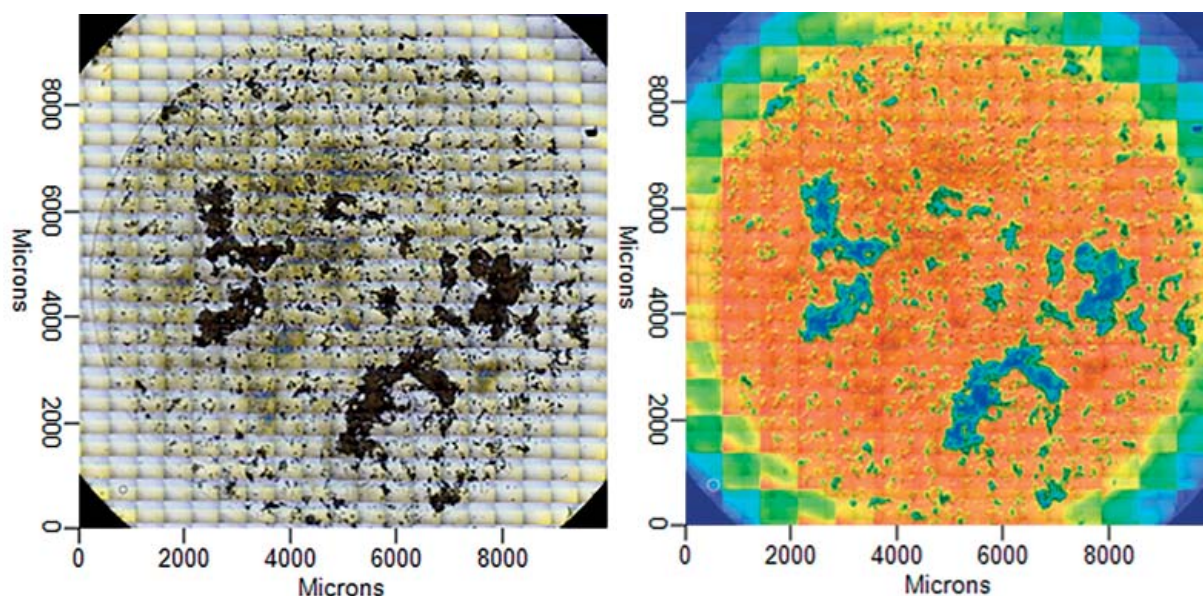
Plastik er i dag et nøglemateriale i vores moderne samfund. Plastik er billigt at producere og har en god holdbarhed, og med sine uendelige kombinationer af kemiske og fysiske egenskaber varetager det et hav af forskellige funktioner. Plastik er et nyttigt materiale, også når vi snakker større bæredygtighed og grønne teknologier. I bilproduktion anvendes der plast, hvilket bidrager til lettere biler. Når bilen bliver lettere, kan den køre længere på literen og bliver mere bæredygtig. Også

i produktionen af grøn energiteknologi som vindmøller og solceller indgår der plast.

Ifølge *PlasticsEurope* produceres der på verdensplan omkring 348 millioner ton plastik om året, hvor polypropylen (PP) og polyethylen (PE) er de plastmaterialer, der produceres mest af. Heraf går en stor del til engangsprodukter. Det bringer os frem til problemet med plastik: En ineffektiv genanvendelse og en ringe cirkulær økonomi. Konsekvensen ser vi i form af et globalt

problem med plastikforurening. En stor del af denne forurening er endda ikke umiddelbart synlig for os, idet den består af bittesmå plastpartikler.

Mikroplast er defineret som partikler af plastik med en størrelse mindre end 5 mm. Udledningen af mikroplast kan inddeles i to kategorier – primær og sekundær mikroplast. Primær mikroplast er plastmateriale designet med en lille partikelstørrelse. Denne type plast anvendes enten af industrien eller



Scanningsbillede af en spildevandsprøve optaget med et såkaldt FPA- μ FT-IR-billedbehandlingssystem. Til venstre ses det visuelle billede, som er optaget med høj opløsning, hvilket gør det muligt at zoom ind til nogle få mikrometer. Til højre ses det tilhørende IR-kort. Hver pixel ($5,5 \times 5,5 \mu\text{m}$) på IR-kortet viser et IR-spektrum, som gør det muligt at identificere partikelmaterialet.

som tilsætningsstoffer i produkter som hygiejne- og plejeprodukter. Sekundær mikroplast er mikrometerstore fragmenter af plast, som stammer fra nedbrydning af større stykker plastik. Det udgør langt den største kilde til mikroplast i naturen. Udover nedbrydning af plast kan mikroplast også stamme fra slitage af forskellige produkter som bildæk, fiskeudstyr og sko.

Mikroplast er et problem i miljøet

Plast pynter ikke ligefrem i naturen, men derudover kan mikroplast have stor betydning for vores vandmiljø. I vandmiljøet er mikroplast biotilgængeligt for de organismer, som lever i vandet. Størrelsen af partiklerne betyder, at organismene i vandet kan forveksle de små partikler med mad. Derved kan mikroplast akkumuleres i organismen og ophobes i fødekæden. Yderligere kan mikroplastpartikler frigive uønskede stoffer, som enten et tilsat ved produktionen (eksempelvis blødgørere) eller miljøgifte, som er adsorberet fra omgivelserne. Hvor stort problemet med mikroplast er kan være svært at sige, da vores viden om de potentielle negative konsekvenser ved eksponering for mikroplast endnu er begrænset.

En forudsætning for at kunne snakke om problemerne med mikroplast på et oplyst grundlag er, at vi faktisk er i stand til at måle mængden af mikroplast i en given prøve. Og her er målemetoderne stadig i deres vorden, og det diskuteres derfor stadig i fagkredse, hvilke metoder der skal anvendes, og hvor retvisende et billede de forskellige metoder giver. Ved sektion for Vand og Miljø på Aalborg Universitet bidrager vi til at udvikle metoderne, så vi kan opnå et solidt grundlag for at vurdere forureningens omfang og betydningen af de forskellige kilder til mikroplast. Vi har særlig fokus på, hvordan man kan ekstrahere mikroplast fra komplekse prøver som sediment, regnvand og spildevand for at afklare, hvilke kilder fra byerne, der udgør den største belastning til mikroplastforurening i vandmiljøet.

Mikroplast udledes til vandmiljøet via forskellige transportveje. Den overordnede danske udledning af mikroplast til vandmiljøet er estimeret til 600-3100 ton om året. Dette tal medtager altså ikke nedbrydningen af store stykker plast til mikroplast – plast, som er smidt i naturen og som her bliver nedbrudt til mindre stykker. Hvor stor den kilde er, ved vi endnu ikke.

I byerne er spildevand og regnvand, der strømmer af byens overflade, kilder til mikroplast i vandmiljøet. For eksempel frigiver tekstiler fibre, når tøjet vaskes, og regnvandet indeholder mikroplast fra slitage af bygningsmaterialer og bildæk.

Kunsten at ekstrahere mikroplast

En sediment-, regnvands- eller spildevandsprøve indeholder heldigvis meget andet end mikroplast såsom biologisk materiale, sand og sten. Før man kan måle på mikroplasten, skal den først isoleres fra alt det andet materiale. Forskellige kemiske og biologiske processer kan bruges til at ekstrahere mikroplast, dog skal man vælge processerne med omhu, så plastikpartiklerne ikke tager skade. Organisk materiale kan fjernes ved at oxidere det eller behandle det med enzymer. Enzymer kan være effektive til at fjerne for eksempel toiletpapir og plantemateriale. Hovedparten af det uorganiske materiale kan fjernes ved at anvende en væske med en kendt massefylde, hvor partiklerne enten vil flyde eller synke til bunds. På den måde kan plastpartiklerne og andet organisk materiale isoleres i overfladen fra den uorganiske del, som vil synke til bunds. Alt efter prøvematerialet og størrelsen på partik-

Analyse af mikroplastpartikler

Når man skal analysere mikroplastpartikler er de små partikler (mindre end 500 μm) mest krævende. Først og fremmest fordi en god ekstraktionsmetode kan være meget tidskrævende. Efter mikroplastpartiklerne er ekstraheret over i en opløsning, deponeres en delprøve på et materiale, som ikke giver et infrarød-signal i analyseområdet (for eksempel linse eller filter). Når væsken er fordampet, kan prøven scannes. Selve analysen (kaldet $\mu\text{FT-IR}$ -analyse, som står for Fourier-Transformeret Infrarød spektroskopi) kan gennemføres i to forskellige udgaver, enten transmittans, hvor lys bringes igennem prøven eller reflektans, hvor lys reflekteres fra prøven.

Den store mængde data fra analysen kan med fordel analyseres ved hjælp af software som MPhunter, der er udviklet på Aalborg Universitet i samarbejde med Alfred Wegener Institutet i Tyskland. Denne software sammenligner alle IR-spektre med IR-spektre fra en database. Partiklerne defineres ud fra en statistisk korrelation, hvorefter partiklens dimensioner, volumen og masse findes.



$\mu\text{FT-IR}$ udstyret med et 15 $\times$ objektivet, der er klar til scanning Foto: AAU, Sektion for vand og miljø.

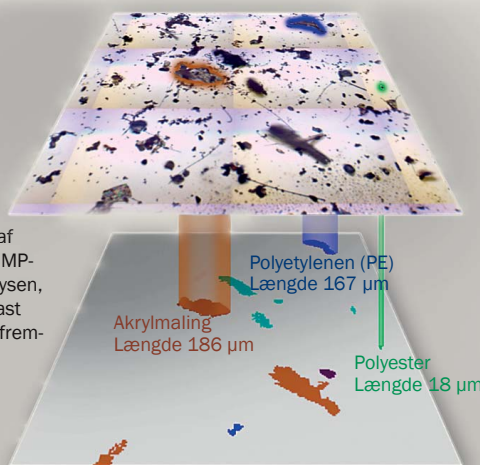


Illustration af princippet i MP-hunter analysen, hvor kun plastpartiklerne fremhæves.

Analyse af større partikler

Til større partikler (større end 500 μm) anvender vi en metode kaldet ATR-FT-IR (ATR står for Attenuated Total Reflectance). Det er en reflektansteknik, som kræver en god kontakt med materialeoverfladen. Partiklerne analyseres en efter en ved at placere partiklen i en holder, som trykker partiklen ned mod lyskilden. ATR-metoden giver derfor en del manuelt arbejde. Ved hjælp af et mikroskop

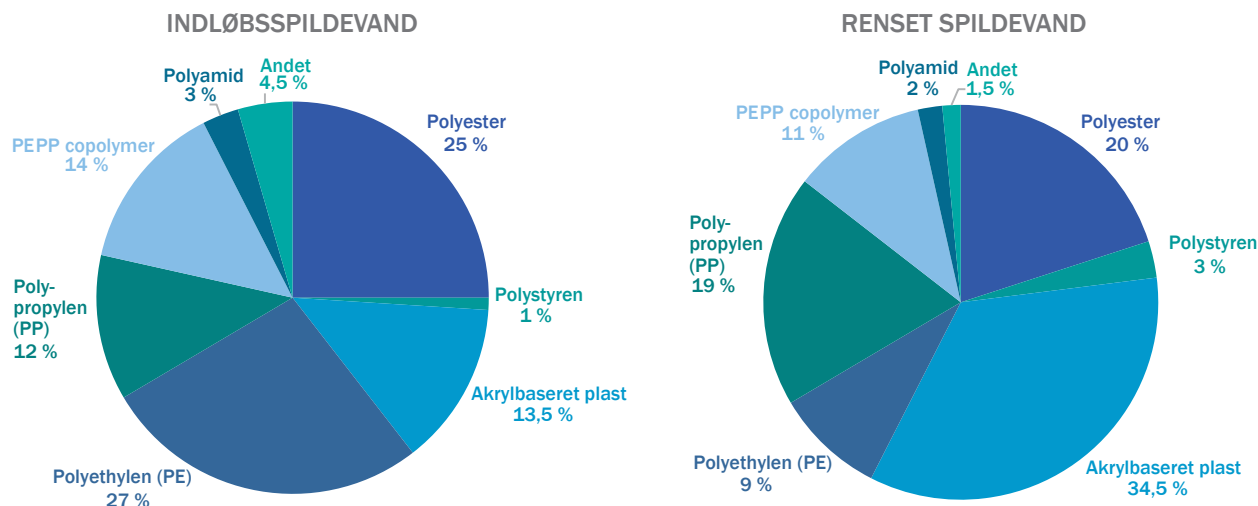
kan de store mikroplastpartikler fiskes ud blandt andet materiale efter en simpel procedure. Nederst til venstre ses en densitetseparation: alt materiale som flyder opsamles og oxideres. Herefter tørres restmaterialet som efterfølgende sorteres under et mikroskop. Mikroplastkandidaterne analyseres herefter med ATR-FT-IR, hvor partikelmaterialet bestemmes.



Bægerglas med en densitetsseparation. Foto: Kristina Borg Olesen



Sorteringsprocessen af mulige mikroplastkandidater. Petriskålen med mindst materiale indeholder mulige mikroplastkandidater og den anden det frasorterede, organiske materiale (i dette tilfælde græsstrå). Foto: Kristina Borg Olesen



Materialesammensætning af plastpartikler fundet i gennemsnitsspildevandsprøve fra ti danske renseanlæg. Procentdelen er baseret på massekoncentrationen.

lerne i prøven, kan man anvende en eller flere processer for at opnå den bedste ekstraktion af mikroplast.

Analysen af mikroplast

Når vi har ekstraheret mikroplast fra vores prøver er næste udfordring at bestemme præcis, hvilke typer plastik der er i prøverne, og hvor meget der er af det. Det er en kompliceret proces, der kræver avancerede analysemetoder og specialiseret viden. Sådanne metoder kan bygge på infrarødspektroskopi, som er en teknik, hvor en infrarød lyskilde vekselvirker med et materiale. De kemiske bindinger, som er tilstede i materialet, giver et unikt infrarødspektrum (IR-spektrum), som kan bruges til at identificere materialet. Infrarødspektroskopi kan gøres langt mere avanceret ved at koble det til andre detektorer og billedbehandlingsinstrumenter (for eksempel et mikroskop). I vores forskning bruger vi en analysemetode, hvor et visuelt billede kobles med IR-spektroskopi, hvilket giver mulighed for at identificere det materiale, partiklerne i prøven består af. Analysen er hurtig og kan finde partikler ned til få mikrometer. Resultatet af analysen er et "kort" bestående af mere end 3 millioner IR-spektre, hvilket er en ganske stor mængde data. Fordelen ved en metode som denne er, at man opnår information om antallet af partikler, partikeldimensioner samt kemisk

identifikation. Ud fra størrelsen på de enkelte partikler samt den kemiske identifikation kan man estimere en massekoncentration.

Det er ikke alle materialer, som metoden egner sig til – for eksempel kan gummi fra bildæk ikke måles. Gummi fra bildæk indeholder nemlig sorte kulstofpartikler (carbon-black), som absorberer alt lys, så der ikke kommer et signal til detektoren og dermed intet IR-spektrum. For at måle på gummi fra bildæk, kan man i stedet bruge en analysemetode, hvor prøven varmes op, så plastiken undergår en delvis forbrænding, hvorefter man analyserer på forbrændingsproduktet. Der findes også andre analysemetoder, som kan anvendes til mikroplastanalyse, heriblandt Raman og NIR (Near InfraRød), som begge er spektroskopiske analysemetoder.

Mikroplastudledning fra renseanlæg

Der findes kun få undersøgelser omkring mikroplastens skæbne fra byernes spildevandssystemer. Generelt viser studierne, at renseanlæggene tilbageholder langt det meste mikroplast, og kun en lille del udledes via det rensede spildevand. I et stort dansk studie foretaget på Aalborg Universitet (AAU) i samarbejde med virksomheden Krüger blev ti af de største danske renseanlæg, som tilsammen va-

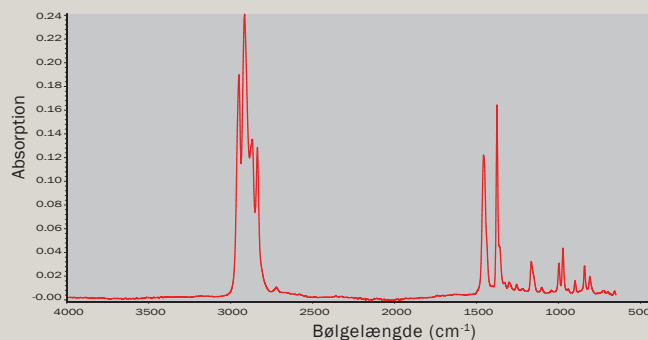
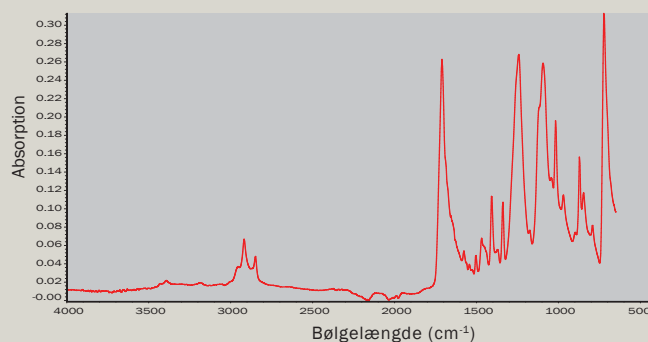
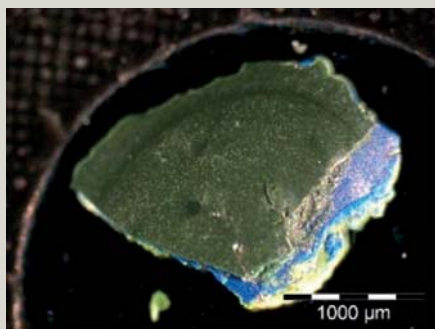
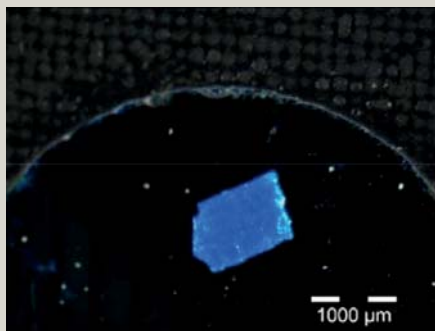
retager cirka 26 % af det samlede spildevand i Danmark, undersøgt for deres mikroplastudledning. Studiet havde fokus på plastpartikler i størrelsen 10-500 µm og viste, at der i gennemsnit i indløbsspildevandet kunne måles en mikroplastkoncentration på 0,250 mg/L svarende til 7216 plastpartikler/L, og i det rensede spildevand kunne måles 0,004 mg/L svarende til 54 plastpartikler/L. Dette kan omregnes til, at 99,3 % af plastmassen bliver tilbageholdt på renseanlægget, mens det tilsvarende tal for antal partikler er 98,3 %. Samme tendens og udledningskoncentrationer er fundet i andre studier lavet i Sverige og Tyskland.

Hvis denne tilbageholdelsesgrad gælder for alle danske renseanlæg, vil der årligt udledes 1 % af den samlede mikroplastmasse, som findes i indløbsspildevandet. Denne ene procent er ikke en uvæsentlig kilde, da det vil betyde, at der samlet set, årligt udledes cirka 3 ton mikroplast fra renseanlæggene. Sammenlignes udledning med den estimerede totale danske mikroplastudledning til vandmiljøet, udgør det rensede spildevand dog kun en beskeden kilde. En vigtig forskel på plastpartiklerne i indløbsspildevandet og det rensede spildevand er partikelstørrelsen. Plastpartiklerne i det rensede spildevand er generelt mindre end dem, der kommer ind

Mikroplastpartikler kan have mange forskellige farver og former. Her ses to eksempel sammen med deres ATR-FT-IR-spektrum. Det blå stykke plast er af materialet polyethylen-terephthalat (PET), der blandt andet anvendes i emballageindustrien.

Nederst: Forskellige plastmaterialer kan kombineres for at opnå en ønsket materialefunktion. Det blå materiale er PET. Det mørke gråsorte plast er polypropylen (PP).

Fotos: Alvise Vianello



Yderligere læsning:

Simon, M et al (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 142, 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.019>

Liu, F. et al (2019). Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416>

Olesen, KB et al (2017). 'Analysis of Microplastics using FTIR Imaging: Application Note' Agilent Application Note Environment. https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-8271EN_microplastics_ftir_application.pdf

på anlægget. Renseanlæggene er lidt bedre til at tilbageholde de store partikler, hvilket betyder, at antallet af plastpartikler ikke bliver reduceret i helt samme grad som massen.

Hvis 1 % af mikroplastmassen udledes med spildevandet, hvor bliver de resterende 99 % så af? Der er lavet enkelte målinger på slammassen fra renseanlæg (blandt andet af AAU), som viser at størstedelen af mikroplasten ender i slammet. I Danmark benyttes det meste slam fra renseanlægget som mineralgødning på markerne, hvor resten bliver afbrændt på forbrændingsanlæg. Dermed bliver mikroplasten potentielt spredt på markerne, hvor den kan optages, fragmenteres eller udvaskes med regnvandet. En svensk undersøgelse, hvor AAU har gennemført mikroplastanalyserne, viser dog, at en normal slamudbringning formentlig ikke øger mængden af mikroplast i jord væsentligt i forhold til baggrundsværdien. Mikroplastindholdet i slammen ser derfor ikke umiddelbart ud til at spænde ben for, at de andre værdifulde stoffer i slam – fosfor, organisk stof og kvælstof – kan bringes til anvendelse på landbrugsjord.

Mikroplast i regnvandsbassiner

Når det regner, vaskes byens og vejens overflade rene – også for plastik. Det kan dog være kompliceret at indsamle en regnvandsprøve, og der findes derfor kun meget få målinger heraf. I Danmark findes der regnvandsbassiner, som har til formål at opsamle regnvand og delvis rense vandet, før det udledes til vandområder. Regnvandsbassiner er derfor et oplagt miljø til at indsamle viden omkring forekomsten af mikroplastforurening i afstrømt regnvand.

Både overfladevandet og sedimentet i flere danske regnvandsbassiner har vist sig at indeholde mikroplast. I overfladevandet er mikroplastkoncentrationerne i samme størrelsesorden som i renset spildevand. Sedimentkoncentrationen er noget højere, cirka 100 gange så stor, men det er også forventet, da bassinernes hovedrenseprincip er bundfældning af partikulært stof. Oplandet har vist sig at have stor betydning for, hvilke plastmaterialer der kan findes i bassinet. Det er derfor muligt at se forskel på, om regnvandsbassinet er placeret i et industriområde, et beboelsesområde eller om det hovedsageligt modtager

afstrømmende vand fra vejnettet. Overordnet set ser det i dag ud som om, at mikroplastkoncentrationen i udledningen fra regnvandsbassiner og renseanlæggene er nogenlunde sammenlignelige.

På vej mod konsensus

Vores forskning viser altså, at rensningsanlæg er meget effektive til at rense mikroplast fra, og det ser også ud til, at de bassiner, vi ofte bruger til at rense afstrømt regnvand, kan fjerne en væsentlig del. Men for at kunne udtale os, som vi gør ovenfor, skal vi være sikre på vores målemetoder, hvilket har været og stadig er en stor udfordring. Plastik er svært at måle, fordi det er mange ting – lige fra tøj til bildæk til mælkekartoner – og kommer i mange størrelser, lige fra store stykker affald til partikler i nanostørrelse. Lige så langsomt bevæger det videnskabelige samfund sig i retning af en konsensus for, hvordan mikroplast skal måles, så vi kan være sikre i vores udtalelser om, hvor meget der er og hvor, og ultimativt hvilke effekter det har på miljøet og mennesker. Det er en forudsætning for, at vi kan træffe kloge beslutninger om, hvor der skal sættes ind med virkemidler for at nedbringe mikroplastforureningen af vores miljø. ■

KAN FEDTSYRER BRUGES SOM MEDICIN?

Fedtsyrer kan virke forebyggende og måske endda modvirke type 2 diabetes ved at aktivere specifikke receptorer i cellerne, der øger insulinudskillelsen og insulinfølsomheden. En fedtsyre i pinjekerneolie har vist sig særlig effektiv til at sænke blodsukkeret hos mus, og den bliver nu testet på mennesker.



Type 2 diabetes er i dag den mest udbredte form for diabetes i verden – cirka 425 millioner mennesker i verden lider af diabetes, og af disse har mere end 80% type 2 diabetes. Tidligere kaldte man type 2 diabetes for gammelmandssukkersyge, men i dag er der også mange unge der rammes af sygdommen, faktisk helt ned til 3-årige børn. Når man lider af type 2 diabetes, producerer kroppen enten ikke nok af hormonet insulin, der sikrer et stabilt blodsukkerniveau, eller også er insulinfølsomheden nedsat; dvs. kroppen reagerer ikke godt nok på det insulin, der dannes. Ofte er det en kombination af de to ting. Type 2

diabetes kan ikke helbredes, så når man får konstateret sygdommen, må man ændre sin livstil til sund mad og motion, og man må tage lægemidler, der hjælper kroppen med at holde et stabilt blodsukker.

Men måske er der et alternativ til lægemidler – nemlig at bruge produkter udvundet fra fødevarer og som har en forebyggende eller sundhedsfremmende effekt. Man kalder på engelsk sådanne produkter for nutraceuticals, som er en sammentrækning af ordene "nutrition" (ernæring) og "pharmaceuticals" (lægemidler). Dette begreb findes ikke i den danske lovgivning, hvor det er opdelt i

kosttilskud og naturlægemidler. Selvom det er kendt, at forskellige fødevarer som fiberrig kost og kaffe kan have en positiv effekt på metaboliske sygdomme som diabetes, så kender man sjældent de aktive ingredienser eller deres virkningsmekanisme.

Interessante receptorer

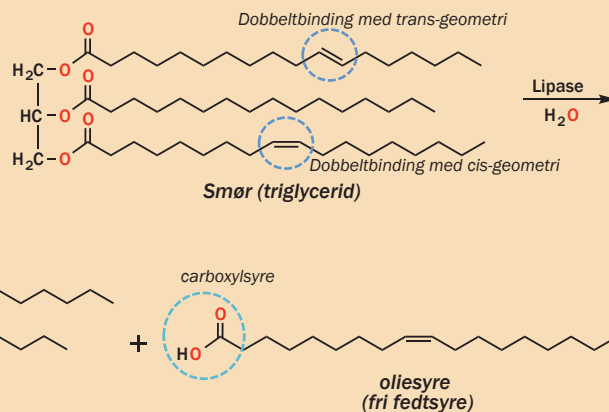
I vores forskningsprojekt har vi undersøgt, hvordan man kan påvirke både insulinudskillelsen og insulinfølsomheden gennem aktivering af to fedtsyrereceptorer kaldet FFA1 og FFA4 ved hjælp af fedtsyrer, der findes i fødevarer. Receptorerne er proteiner, der sidder i cellemembranen og kan sende signaler fra



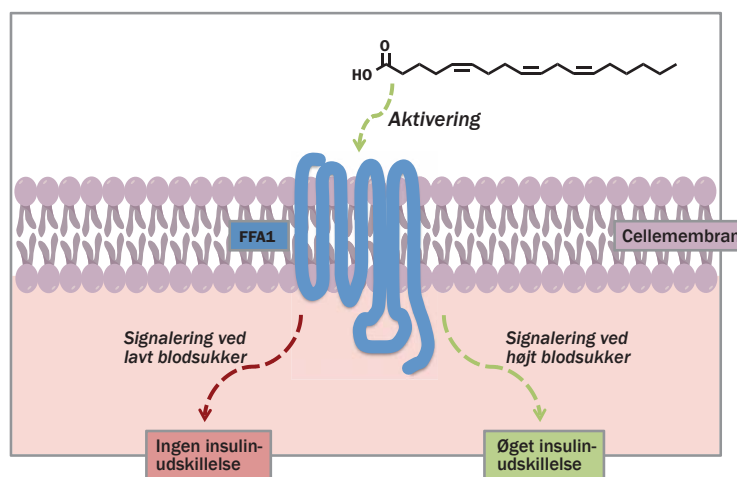
Forfatter

Elisabeth Rexen Ulven er adjunkt ved Institut for Lægemiddeldesign og Farmakologi, Københavns Universitet. Hun forsker i medicinalkemi inden for metaboliske sygdomme.
eru@sund.ku.dk

Figuren viser processen fra triglycerid til fri fedtsyre i kroppen. På figuren er også vist dobbeltbindinger med henholdsvis cis- og trans-geometri. Er carbonatomer i en kæde med en dobbeltbinding placeret på samme side af dobbeltbindingen kaldes det cis-isomeri. Er carbonatomerne derimod placeret på hver sin side af dobbeltbindingen kaldes det trans-isomeri.



En carboxylsyre (COOH) er en funktionel gruppe der består af et carbonatom med en dobbeltbinding til det ene O (oxygen-atom) og en enkeltbinding til OH (hydroxygruppe). En ester (COOR) er en funktionel gruppe, der ligner carboxylsyren, men hvor oxygen er bundet til et carbonatom i stedet for hydrogen.



Aktivering af FFA1-receptoren i en insulinudskillende celle i bugspytkirtlen ved lavt og højt blodsukkerniveau.

ydersiden til indersiden af cellen, hvis de aktiveres af fedtsyrer, og vil dermed være med til at regulere for eksempel hormonudskillelsen i kroppen. De to receptorer findes forskellige steder i kroppen, blandt andet på tarmceller og på celler i bugspytkirtlen. Aktivering af FFA1 øger glukosestimuleret insulinudskillelse, det vil sige, at hvis blodsukkeret er for lavt, vil aktivering ikke øge insulinudskillelsen, og man risikerer derfor ikke som bivirkning at få for lavt blodsukker, noget som er et problem med en del diabetes-medicin. Aktivering af FFA4 har vist sig at have en gavnlig effekt på insulinfølsomheden og have en betændeshæmmende effekt. Derudover beskytter begge receptorerne bugspytkirtlen, der netop er det organ, der udskiller insulin.

Yderligere fremmer de udskillelsen af andre glukoseregulerende og appetitregulerende hormoner. Men hvilke fedtsyrer er de bedste, og i hvilke fødevarer findes de?

Fedtstoffets anatomi

Næsten alle fedtstoffer indeholder fedtsyrer, og den mest almindelige type fedtstof i vores kost er triglycerider. Et triglycerid består af glycerol, der er et lille sukkermolekyle, og tre fedtsyrer, der er bundet til glycerol ved hjælp af såkaldte esterbindinger. De tre fedtsyrer kan være identiske, men er oftest forskellige, og det er sammensætningen, der afgør om triglyceriderne er faste eller flydende. En fedtsyre består af en carboxylsyre (COOH) med en kæde af carbonatomer, der kan have forskellig længde afhæn-

gig af typen. En vigtig egenskab ved denne carbonkæde er, om den indeholder dobbeltbindinger eller ej. Hvis den ingen dobbeltbindinger har, kaldes fedtsyren for mættet, og den slags fedtsyrer findes i store mængder i kokos- og palmeolie samt i kød. Hvis carbonkæden indeholder dobbeltbindinger kaldes den umættet. Enkeltumættede fedtsyrer har som navnet siger kun en enkelt dobbeltbinding, og dem finder man især i planteolier. Et eksempel er oliesyre, som er den mest almindelige fedtsyre i fødevarer og som findes i store mængder i olivenolie og rap-solie. Hvis carbonkæden indeholder flere dobbeltbindinger kaldes den flerumættet, og disse fedtsyrer findes i fiskeolie og næsten alle planteolier.

Receptorerne FFA1 og FFA4 aktiveres af frie fedtsyrer. Så når vi primært får fedtstof ind i kroppen i form af triglycerider, skal de enkelte fedtsyrer først frigives fra triglyceriderne, hvilket enzymer kaldet lipaser sørger for.

Det første, vi gjorde i vores forskningsprojekt, var at udvælge en masse frie fedtsyrer og undersøge, om de kunne aktivere de to receptorer og ved hvilken koncentration. Vi testede mættede fedtsyrer, enkeltumættede fedtsyrer, flerumættede fedtsyrer; oxiderede fedtsyrer (der både findes i nogle planteolier men også kan dannes i kroppen ud fra andre fedtsyrer); og forgrenede

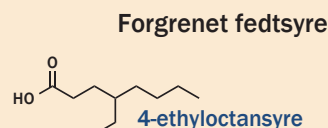
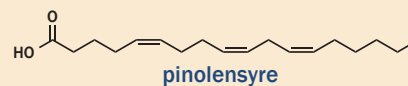
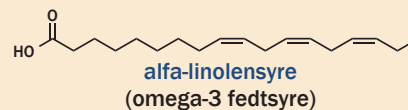
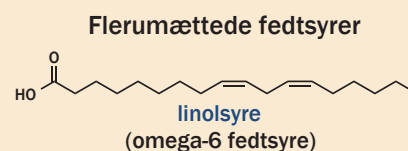
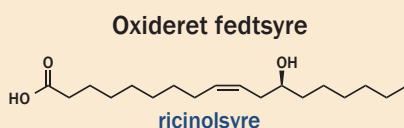
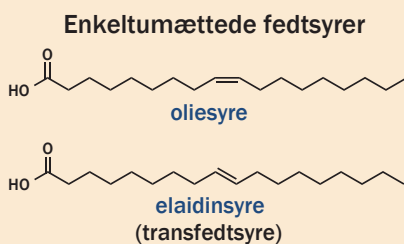
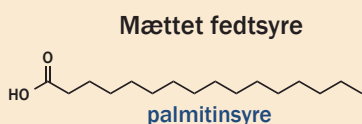
Fedtsyrer

En fedtsyre er en hydrocarbonkæde med en carboxylsyre (COOH) i den ene ende. Carboxylsyren binder til vand (den er hydrofil), og hydrocarbonkæden frastøder vand (den er hydrofob eller lipofil). Det gør, at fedtsyren binder til både vand og fedt, og den er derfor effektiv som sæbe. Naturligt forekommer fedtsyrer indeholder oftest et lige antal carbonatomer, mens for eksempel bakterier og drøvtyggere kan have fedtsyrer med både lige og ulige kædelængder.

Typer af fedtsyrer

Fedtsyrer inddeles i kortkædede fedtsyrer, der har færre end 6 carbonatomer, mellemkædede fedtsyrer, der har 6-12 carbonatomer, langkædede fedtsyrer, der har 13-22 carbonatomer og meget langkædede fedtsyrer, der har mere end 22 carbonatomer. Derudover inddeles fedtsyrerne som beskrevet i teksten efter antallet af dobbeltbindinger i mættede og umættede fedtsyrer. I de fleste naturlige fedtsyrer har alle dobbeltbindinger såkaldt cis-geometri, så fedtsyrekæden får et "knæk" ved dobbeltbindingen. Det gør, at fedtsyrekæderne pakker dårligere sammen, og at olien derved får et lavere smeltepunkt. Dermed er olier med mange dobbeltbindinger, som majsolie og pinjekerneolie, flydende, mens kokosolie, palmeolie og animalsk fedt er faste ved stuetemperatur.

Nogle fedtsyrer har dobbeltbindinger med såkaldt trans-geometri, og de kaldes transfedtsyrer. Disse er i de fleste tilfælde kunstigt fremstillet, for eksempel dannes transfedt-



syren elaidinsyre ved kemisk margarinefremstilling. Transfedtsyrer er kendt for at have dårlige effekter på sundhed, og i Danmark er der strenge restriktioner på brugen af transfedtsyrer i fødevarer, men de bruges stadig ubegrænset i mange andre lande.

Essentielle fedtsyrer

Omega-3 fedtsyrer og omega-6 fedtsyrer er essentielle fedtsyrer, hvilket betyder at kroppen har behov for dem, men ikke selv kan syntetisere dem, ligesom vitaminer. Andre umættede fedtsyrer kan kroppen selv danne ud fra mættede fedtsyrer ved hjælp af enzymer. Omega er det sidste bogstav i det græske alfabet og bruges som betegnelse for det sidste carbonatom i fedtsyrekæden. Omega-3 betyder altså, at den første dobbeltbinding findes ved tredje carbonatom fra modsatte ende af der, hvor carboxylsyren sidder. Eksempler på vigtige omega-3

fedtsyrer er alfa-linolensyre, der primært kommer fra planteolier, og docosahexaensyre (bedre kendt som DHA – docosa betyder 22 carbonatomer og hexaen betyder 6 dobbeltbindinger), der blandt andet findes i fiskeolie.

Oxiderede fedtsyrer

Oxiderede fedtsyrer indeholder et eller flere oxygenatomer udover dem, som findes i carboxylsyren, for eksempel i form af hydroxygrupper eller ketoner, et sted på carbonkæden. Disse dannes ofte i kroppen, men findes også i planter, fx indeholder amerikansk olie 85% ricinolsyre.

Forgrenede fedtsyrer

Forgrenede fedtsyrer er ikke så almindelige i planter og dyr og er ofte kun forgrenet med en enkelt methylgruppe. Et eksempel på en naturlig forgrenet fedtsyre er 4-ethyloctansyre der findes i oste og andre aromatiske fødevarer.

fedtsyrer (der er mere sjældne og blandt andet findes i små mængder i komælk).

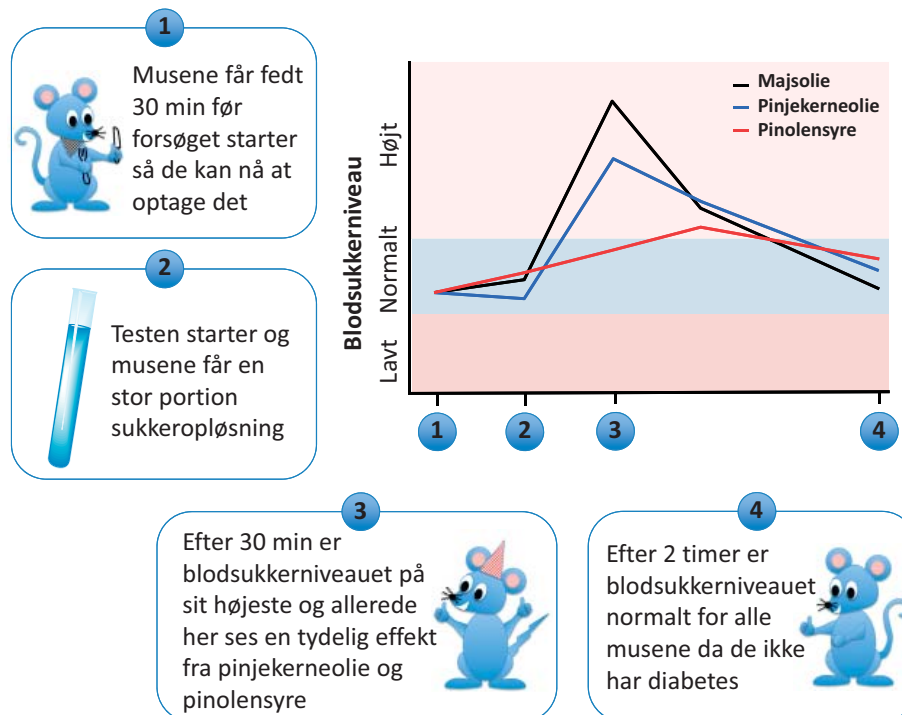
Test af pinjekerneolier

Flere forskellige typer af de frie fedtsyrer kunne aktivere receptorerne, men der var stor forskel på, hvor effektive de forskellige fedtsyrer var på de to receptorer. Det har både

en betydning, hvor lange de frie fedtsyrer er, hvor mange dobbeltbindinger der er, og hvor de sidder i fedtsyrekæden. Pinjekerner indeholder et af de mest interessante og aktive stoffer, nemlig pinolensyre, der aktiverer begge receptorer cirka lige effektivt. Pinolensyre er en flerumættet fedtsyre, men den er lidt speciel fordi dobbeltbindin-

gerne er lidt anderledes placeret i kæden sammenlignet med de fleste andre flerumættede fedtsyrer, og det er derfor ikke en fedtsyre, som kroppen selv kan danne. De forskellige typer af pinjekerner indeholder forskellige mængder af pinolensyre, hvor koreanske og sibiriske pinjekerner er kendt for at indeholde mest (cirka 20% pinolensyre).

Glukosebelastningstest i mus



Forslag til yderligere læsning:
Activity of dietary fatty acids on FFA1 and FFA4 and characterisation of pinolenic acid as a dual FFA1/FFA4 agonist with potential effect against metabolic diseases, British Journal of Nutrition (2015), 113, 1677–1688.

www.ffarmed.dk

Vi købte 4 forskellige pinjekerneolier og undersøgte sammensætningen i laboratoriet, før vi valgte den olie, der havde størst indhold af pinolensyre. Blandt de fire olier indeholdt den bedste olie 21% pinolensyre, mens den dårligste olie havde et overraskende lavt indhold (8%), som tyder på, at olien muligvis var fortyndet med en anden olie, da pinjekerneolie sammenlignet med mange andre olier er forholdsvis dyr.

Virker godt på mus

Selvom receptorerne i mennesker og mus ofte ligner hinanden meget, kan små ændringer i aminosyrasekvensen påvirke stoffernes aktivitet. Det har vi tidligere oplevet med syntetiske stoffer, men pinolensyre viste samme aktivitet på musevarianterne af FFA1 og FFA4, og vi valgte derfor at gå videre med at undersøge effekten i mus. Det vigtigste var at undersøge, om pinolensyre har den glukosesænkende effekt, som behøves for at modvirke type 2 diabetes. Vi lavede derfor en glukosebelastningstest i mus på samme måde, som når man undersøger, om mennesker lider af diabetes. Musene faster

natten over og får så en stor portion sukker, så blodsukkerniveauet bliver meget højt, og over tid måler man, hvor gode de er til at sænke blodsukkeret. Men modsat en almindelig glukosebelastningstest fik musene en halv time inden forsøget enten pinjekerneolie, ren pinolensyre eller majsolie som kontrol. Vi valgte majsolie som kontrol, fordi olien indeholder stort set de samme fedtsyrer som pinjekerneolie med undtagelse af pinolensyre. Efter 30 min er blodsukkerniveauet næsten på sit højeste for alle musene, og vi kunne tydeligt se, at pinjekerneolie havde en sænkende effekt på blodsukke-

ret, mens den frie pinolensyre gav den største effekt. Det tyder på, at pinjekerneolie og ren pinolensyre øger insulinudskillelsen sammenlignet med majsolie. Efter to timer var blodsukkerniveauet næsten normalt for alle musene, da de ikke havde diabetes.

Efter de gode resultater i mus er vi nu nået til sidste del af vores forskningsprojekt – at undersøge om pinjekerneolie kan bruges som nutraceutical i enten forebyggelsen eller behandlingen af type 2 diabetes. De første kliniske forsøg er allerede i gang, og vi venter spændt på resultaterne. ■

Forskningsprojektet FFARMED

Titlen på forskningsprojektet **FFARMED** står for: **Free fatty acid receptor mediated effects of food on metabolic diseases** og er et forskningsprojekt, der har til formål at undersøge effekten af fødevarer og fødevarerestoffer på metaboliske sygdomme som type 2 diabetes gennem aktivering af fedtsyrereceptorer som FFA1 og FFA4. FFARMED er et internationalt forskningsprojekt, der har kørt siden 2012 og involverer 8 forskningsgrupper i Danmark, England, Skotland og Tyskland samt virksomhederne Arla og Biosym. Projektet er støttet af Det Strategiske Forskningsråd og InnovationsFonden. Se mere på www.ffarmed.dk

FÅ NY INSPIRATION TIL

GYMNASIELÆRERDAGE

PÅ AARHUS UNIVERSITET

Underviser du i naturvidenskab i gymnasieskolen?

Så kom til Science and Technology's gymnasielærerdage og få

- ✓ FAGLIGT NYT FRA FORSKNINGENS VERDEN
- ✓ IDÉER TIL NYE UNDERVISNINGSEMNER
- ✓ MULIGHED FOR AT NETVÆRKE MED ANDRE UNDERVISERE
- ✓ PRÆSENTERET AARHUS UNIVERSITETS GYMNASIETILBUD

EFTERÅR 2019

Inspirationsdag på AU Foulum
18. september 2019

Biologi
25. oktober 2019

Idé- og teknologihistorie
31. oktober 2019

Teknikfag og teknik
14. november 2019

FORÅR 2020

Fysik- og astronomi
17. januar 2020

Matematik
2. april 2020

Læs mere
og tilmeld dig
gratis på

AU.DK/GYM



AARHUS
UNIVERSITET
SCIENCE AND TECHNOLOGY

DET ENERGI- PRODUCERENDE RENSEANLÆG

Moderne renselanlæg skal ikke bare sørge for, at spildevand bliver rensat, så det kan udledes til vandmiljøet – de skal også fungere som centre for værdifulde ressourcer.

Om forfatterne:



Peter Daugbjerg Jensen
pdj@frse.dk



Aja Brødal
ab@frse.dk

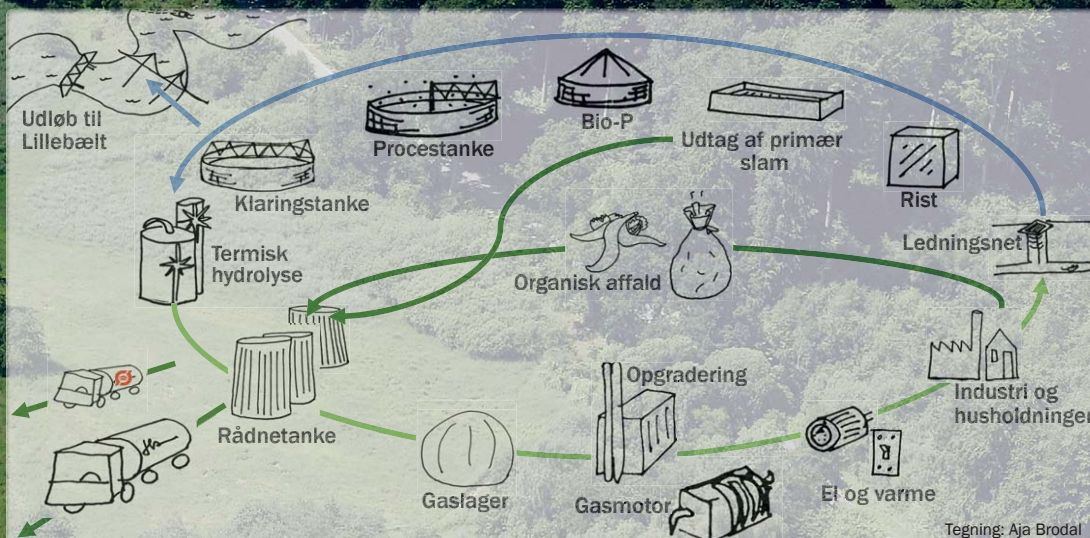
Begge er ved
Fredericia Spildevand
og Energi A/S

Når vi trækker ud i toiletet eller sender vandet med de sidste madrester gennem kloaksystemet, er den handling første skridt i spildevandvandets rejse mod nye produkter. Håndtering af spildevand er ikke længere kun et spørgsmål om at fjerne et problem på en forsvarlig måde med mindst mulig påvirkning af de åer, søer og kystnære områder, som vores spildevand ender i efter endt rensning. Det er også et spørgsmål om at varetage en ressource bedst muligt. Spildevand er nemlig en ressource, som allerede i dag giver adgang til produktion af for eksempel gødning, el, gas og varme. Og udviklingen går hastigt i retning mod, at renselanlæg skal fungere som ressourcecentre i en cirkulær økonomi, hvor spildevandet og dets indholdsstoffer omdannes til produkter, der kan indgå i nyttige nye sammenhænge.

Udfordringerne for omstilling fra renselanlæg til ressourcecentre er mangeartede. Grundlæggende må omstillingen selvfølgelig ikke ske på bekostning af en nedprioritering af kvaliteten af spildevandsrensningen. Med det in mente er der stadig mange muligheder, der kan begrænses af andre forhold. Der er eksterne forhold, som det enkelte renselanlæg har begrænset indflydelse på, for eksempel energiløst og lovgivning, men udfordringerne kan også findes i lokale forhold som fysiske og økonomiske rammer. Anlægsinvesteringer er langsigtede, og de nuværende anlæg vil ofte være bygget i en tid, hvor vandrensning var den absolut eneste opgave. Samtidig går udviklingen hurtigt, og i dedikerede driftsorganisationer kan det være vanskeligt at finde tid til en gennemgribende analyse af den langsigtede værdi af de mange teknologier, der kan bringes i spil.

For renselanlægget i Fredericia, der oprindeligt blev etableret i 1970'erne og siden ombygget og udbygget for at følge med by- og erhvervsudviklingen i området, skal nye løsninger findes indenfor de eksisterende fysiske rammer. Det eksisterende anlæg og bygninger optager en stor del af renselanlæggets areal, og med bymæssig bebyggelse og fredede arealer til alle sider, kan der ikke foretages store udvidelser eller ombygninger. Men med en vedtaget vision om at opnå energineutralitet i 2019 – altså at virksomheden producerer lige så meget energi (el, gas og varme), som det bruger – skal kerneopgaven med at rense spildevand løses mere energioptimalt end hidtil, og det kræver nytænkning.

Energibevidsthed har længe været en del af processerne hos Fredericia Spildevand og Energi A/S. Slammet



Renseanlægget modtager cirka 10 millioner m³ spildevand årligt. Gennem en række rensetrin fjernes fremmedlegemer og fedt, og efterfølgende omsættes organiske stof, og fosfor og kvælstof reduceres betydeligt, inden det rensede spildevand udløses til Lillebælt. Slammet fra renseprocessen anvendes til produktion af biogas, som omsættes til el, varme og naturgas. Den organiske rest efter bioforgasning afsættes til jordforbedring. Fremover vil omlægningen til et to-trins anlæg med udtag af primærslam og anvendelse af organisk dagrenovation øge produktionen af biogas og potentielt skabe mulighed for afsætning af gødning til økologiske jordbrug.

Baggrundsfoto: Renseanlægget i Fredericia er placeret mellem boliger og fredede naturområder, og derfor skal alle udvidelser, optimeringer og forbedringer findes indenfor anlæggets eksisterende område. Med et stort projekt støttet af Regionalfonden gennemføres ændringer, der sikrer at anlægget bliver energineutralt og på sigt energiproducerende. Foto: Fredericia Spildevand og Energi A/S

fra spildevandet er siden anlægget blev etableret blevet brugt til at producere biogas på rådnetårne. Biogassen omdannes på en gasmotor til el og varme, som afsættes i lokalområdet. De senere år er gasen også blevet opgraderet til naturgaskvalitet, som løber med i det nationale naturgasnet. I 2013 blev der produceret, hvad der svarer til cirka 65% af anlæggets eget energiforbrug, og siden visionen omkring energineutralitet blev vedtaget, steg dette tal til godt 80% i 2017. Men for at nå det sidste løft mod energineutralitet er der behov for en bredere og systematisk gennemgang af både effektive renseteknologier og metoder til energioptimering og øget energiproduktion.

Affald som ressource

Samtidig med, at Fredericia Spildevand og Energi A/S skulle se på effektive og nytænkende løsninger

til energioptimering, udviklede Fredericia Kommune i 2016 en bæredygtighedsstrategi. Siden 90'erne er der i kommunen blevet indsamlet grønt husholdningsaffald fra borgerne. Denne fraktion af affald er blevet komposteret sammen med have-park-affaldet fra både byen og borgerne. Når der komposteres, udledes der en del drivhusgasser, så kommunen udpegede i strategien komposteringen som et område, hvor der skulle undersøges alternative løsninger. Og disse løsninger må gerne sikre, at det grønne husholdningsaffald og have-park-affaldet recirkuleres som nyttige ressourcer.

Altså stod man med to adskilte, men alligevel relaterede udfordringer i Fredericia: bedre håndtering af organisk affald og energineutral spildevandshåndtering. Udfordringerne blev sammentænkt ind i en

circulær løsning i projektet *Affaldshåndtering og Energoptimering – Kildesorteret organisk affald og have- og parkaffald til biogas*, som er støttet af EU's Regionalfond. I projektet samarbejder Fredericia Spildevand og Energi A/S, Fredericia Kommune, forskere fra Aalborg Universitet og Syddansk Universitet samt Det Økologiske Råd om to faglige og teknologiske spor, som omhandler henholdsvis affaldshåndtering og energioptimering.

Fra husholdningsaffald til biogas og gødning

Det ene faglige spor "Affaldshåndtering" fokuserer på Fredericia Kommunes kildesorterede organiske husholdningsaffald. Dette affald er en meget potent ressource, der kan bruges til produktion af biogas. Gennem projektet bliver en lokal løsning for affaldet analyseret: nemlig at anvende det til produktion af



Renseanlæggets har 2 rådnetanke, som producerer cirka 1,7 millioner m³ biogas årligt på slammet fra spildevandet fra Fredericias kommunes borgere og virksomheder. Biogassen anvendes til produktion af el og varme, samt opgraderes til naturgas. Det afgassede slam anvendes som gødning på landbrugsjord.

Biogassen omsættes på en gasmotor til el og varme som afsættes til elnettet og et lokalt fjernvarmenet, og dermed recirkuleres energien fra spildevandet i nærområdet.

Fotos: Fredericia Spildevand og Energi A/S

Om projektet

Projektet *Affaldshåndtering og Energoptimering – Kildesorteret organisk affald og have- og parkaffald til biogas* er støttet af EU's Regionalfond. Partnerne i projektet er Fredericia Spildevand og Energi A/S, Fredericia Kommune, Aalborg Universitet, Syddansk Universitet og Det Økologiske Råd.

Med en støtte fordelt mellem de fem partnere på godt 11 mio. kr., der skal bruges til vidensopbygning, analyser, kortlægning og udvikling af sunde businesscases, er forventningen, at projektet vil lede til resultater, der kan mærkes langt ind i den daglige drift og som væsentligt forbedrer kommunens og renseanlæggets energiregnskab og klimabelastning.

biogas hos Fredericia Spildevand og Energi A/S. Herved etableres et grønt lokalt kredsløb: Borgerne laver affald, affald laver grøn energi, borgerne bruger den grønne energi. Kredsløbet er dog ikke uden udfordringer, og i det fælles projekt kortlægges politiske, økonomiske, tekniske og juridiske muligheder og begrænsninger.

Sideløbende med en bedre udnyttelse af det organiske affald undersøges i samarbejde med Syddansk Universitet muligheden for at ensilere have-parkaffald og det organiske affald sammen – dvs. lade affaldet opløses i en iltfattig beholder. Have-parkaffald er ikke særlig velegnet til produktion af biogas, men ved at at ensilere øges omsætteligheden og gør potentielt den samlede ensilerede masse bedre egnet til biogasproduktion end hver del for sig selv. Når projektet afsluttes i 2020, er

forventningen, at kommunen har fundet en samlet set bedre løsning for sit grønne affald.

Det afgassede slam fra spildevand anvendes i dag som jordforbedring på marker hos konventionelle landbrug. Hvis organisk husholdningsaffald afgasses, indeholder restproduktet næringsstoffer, der, ved korrekt håndtering, kan blive til gavn for økologisk jordbrug. I projektet *Affaldshåndtering og Energoptimering* undersøges i samarbejde med Det Økologiske Råd mulighederne for at benytte det organiske husholdningsaffald på en separat linje på renseanlægget – altså uden at det kommer i kontakt med spildevandsslam – så resterne efter afgasning kan udspredes hos økologiske landbrug. Andre løsninger kan være, at husholdningsaffaldet afgasses sammen med landmændenes gylle, for eksempel på særskilte

økologiske linjer på biogasanlæg. Herved får økologerne rådighed over næringsstofferne fra byernes affald, som de har et stort behov på grund af den kraftige ekspansion, som branchen oplever i disse år. Denne løsning vil ikke bidrage til renseanlæggets udfordring med at øge sin energiproduktion og vil heller ikke bidrage til det helt lokale grønne kredsløb.

Energoptimering og øget fleksibilitet

Den andet faglige spor i det store fælles projekt omhandler energioptimering. På grund af de store industrier i Fredericias opland, som afleder spildevand til Fredericia Spildevand og Energi A/S ledningsnet og renseanlæg, varierer de stofflige koncentrationer i spildevandet betydeligt over korte tidsintervaller. Når indholdet i spildevandet ændres, påvirkes energiforbruget

på renseanlægget. I samarbejde med Aalborg Universitet undersøger Fredericia Spildevand og Energi A/S mulighederne for at optimere det samlede energiforbrug på anlægget. Det omfatter blandt andet øget brug af online målinger i renseanlæg og energiproducerende anlæg samt i kloakkerne, for eksempel ved udvalgte virksomheder. Med en smartere og mere datadrevet styring af anlæg og kloaknet, kan energiforbruget reduceres. Derudover vil optimeret styring formindske risikoen for overløb ved øgede regnmængder, ligesom risikozoner for svovlbrintedannelse kortlægges gennem projektet.

Udover datadrevet styring skal energibesparelserne også sikres gennem to mere håndfaste tiltag. Spildevandet i Fredericia renses biologisk, ved at man presser meget små luftbobler op gennem det. Det sikrer omsætningen af det organiske stof ved hjælp af bakterier. Processen er dog meget energikrævende, så der er store besparelser at hente ved at bruge mere energieffektive løsninger, hvilket er blevet implementeret i 2019. Udover at optimere teknolo-

gien i beluftsprocessen indfører Fredericia Spildevand og Energi A/S et ekstra trin i renseprocesserne, hvor en stor del af det organiske indhold i spildevandet udtages inden beluftning. Dette udtag af organisk stof pumpes direkte på rådnetårne, hvor det omsættes til biogas. Det betyder, at der spares på energien ved at reducere på mængden af organisk stof, der skal beluftes, samtidig med at slammet producerer mere energi i form af biogas.

Så med datadrevet styring, forbedret teknologi i beluftning og udtag af slam før beluftning, vil virksomheden kunne opnå sin ambition om energineutralitet – og måske løftes til at være en netto energiproducerende virksomhed.

Resultater og perspektiver

Det stopper selvfølgelig ikke her, hverken i Fredericia eller i branchen. I Fredericia skal muligheden for at producere næringsstoffer fra organisk dagrenovation til økologiske landbrug udvikles yderligere. I dag er det hovedsageligt energi (biogas), som omsættes til el og varme, samt nitrat og fosfor til

gødning, der produceres fra spildevandet. Spildevand indeholder imidlertid også mange andre muligheder. Eksempelvis kan bakterier i spildevandet producere biopolymere, der kan anvendes til bionedbrydeligt plastik, og spildevandsstrømme fra specifikke processer vil med den rette teknologi kunne blive til værdifulde ressourcer. Hvor produktion af el, varme og gødning bygger på modne teknologier, er teknologi og processer til produktion af polymerer og mikroalger stadig under udvikling. Udviklingen går imidlertid hurtigt, drevet af både kommercielle og forskningsmæssige interesser, og flere steder arbejdes med pilotskalaanlæg som afsæt for en egentligt industriel produktion.

Så spildevand er ikke længere kun et problem, der skal fjernes. Branchen forstår, at der gemmer sig vigtige ressourcer i de strømme, der kommer fra køkkenvaske, toiletter, industrier mv. Og med de rette ideer og rette investeringer vil branchen indenfor en overskuelig fremtid være skiftet fra at være nødvendige renseanlæg til at være nyttige ressourcecentre. ■

Yderligere læsning:
Urban Biocycles, Ellen MacArthur Foundation, 2017

Danmark uden Affald, Ressourcestrategi 2013

BIOPOL – Udvinding af biopolymere fra spildevand, Miljøstyrelsen 2018

Mansouri S.S m.fl. (2017) Ressourcegenindvinding – vejen til øget bæredygtighed i biobaserede produktionsprocesser. Dansk Kemi 98 nr. 4.

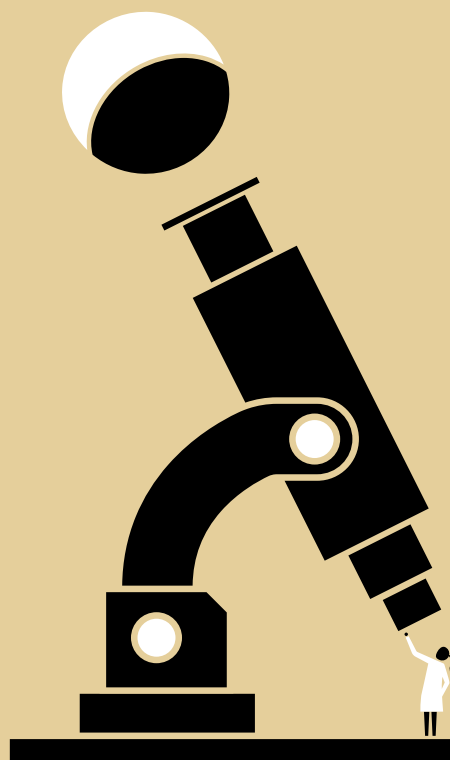
Det store spørgsmål

Fysik eller Biokemi og molekylær biologi
- Hvilken uddannelse er den rigtige for dig?

På Syddansk Universitet
kan du bl.a. vælge mellem
10 naturvidenskabelige uddannelser

Fysik
Kemi
Farmaci
Datalogi
Matematik

Anvendt matematik
Matematik-Økonomi
Biologi
Biomedicin
Biokemi og molekylær biologi



sdu.dk/uddannelse #sdudk

SDU



NÅR LEVEREN BLIVER FOR FED

Om forfatterne



David Højland Ipsen er ph.d. i in vivo farmakologi og forsker i dyremodeller og fedtlever. dhi@sund.ku.dk.



Jens Lykkesfeldt er professor i eksperimentel farmakologi og toksikologi og forsker i, hvordan oxidativ stress påvirker udviklingen af sygdomme. jopl@sund.ku.dk.



Pernille Tveden-Nyborg er lektor i eksperimentel farmakologi og forsker i fedtlever samt hjernens udvikling. ptn@sund.ku.dk.

Alle ved Sektion for Eksperimentelle Dyremodeller, Københavns Universitet.

I dag påvirkes op imod 25 % af verdens befolkning af sygdommen non-alkoholisk fedtlever, og tendensen er i stigning. I kampen mod sygdommen kan marsvin vise sig værdifulde, fordi de ligner mennesker på en række vigtige punkter i forhold til omsætningen af fedt i kroppen.

I store dele af verden, herunder Danmark, spiser man i større og større grad mad med højt kalorie-, fedt- og sukkerindhold. Dette har medført en eksplosion i forekomsten af overvægt og fedme, og samtidig i forekomsten af alvorlige følgesygdomme. En af disse er non-alkoholisk fedtlever – eller blot NAFLD (fra det engelske *non-alkoholic fatty liver disease*), som på kort tid er blevet den mest almindelige leversygdom i verden og påvirker omkring 25 % af verdens befolkning. Sygdommen kan findes hos både børn og voksne og er i fortsat stigning.

Når man forsker i, hvordan sygdomme som NAFLD opstår og ønsker at udvikle behandlinger er dyremodeller uvurderlige. Således er det et lovkrav, at virkninger og bivirkninger af potentielle lægemidler testes og dokumenteres i forsøgsdyr, før de må afprøves i mennesker. Heri ligger en antagelse om, at forsøgsdyrene afspejler sygdommen, som den ser ud i mennesker. Man siger, at en dyremodel har en høj translationel værdi, når resultater opnået i dyrestudier kan overføres til mennesker. Desværre er dette ikke altid tilfældet, og manglen på gode dyremodeller er en af de største udfordringer for udviklingen

af nye lægemidler til behandling af sygdomme hos mennesker. Der er derfor en stor interesse i at udvikle og benytte gode og repræsentative dyremodeller.

I NAFLD-forskningen har manglen på gode dyremodeller besværliggjort udviklingen af effektive lægemidler til behandling. Ofte er det nødvendigt at bruge dyremodeller, som har en ændret genetik (for eksempel så de overspiser og bliver meget fede) eller at fjerne visse næringsstoffer fra dyrenes foder, som gør dem ude af stand til at omsætte fedt i leveren, så fedtet i stedet ophobes. Selvom fedtop-

Lipoproteiner

Fedt og kolesterol er ikke opløselige i vand og pakkes derfor ind i såkaldte lipoproteiner, for at transporteres rundt i kroppen via blodet. Lipoproteiner inddeles overordnet set efter deres vægtfylde (*very low*-, *low*- og *high-density* lipoproteiner; forkortet til henholdsvis VLDL, LDL og HDL). Der er stor forskel på, hvilke lipoproteiner forskellige dyrearter anvender. For eksempel bruger mennesker og marsvin hovedsageligt LDL, mens mus og rotter almindeligvis bruger HDL. Lipoproteiner spiller en afgørende rolle i mange sygdomme. LDL kendes for eksempel som "det dårlige kolesterol" og HDL som "det gode", og de menes henholdsvis at bidra-



LDL



HDL

ge til og modvirke åreforkalkning. I forhold til at kunne oversætte resultater fra forsøgsdyr til men-

nesker kan det derfor være meget vigtigt, hvilke lipoproteiner dyrene anvender.

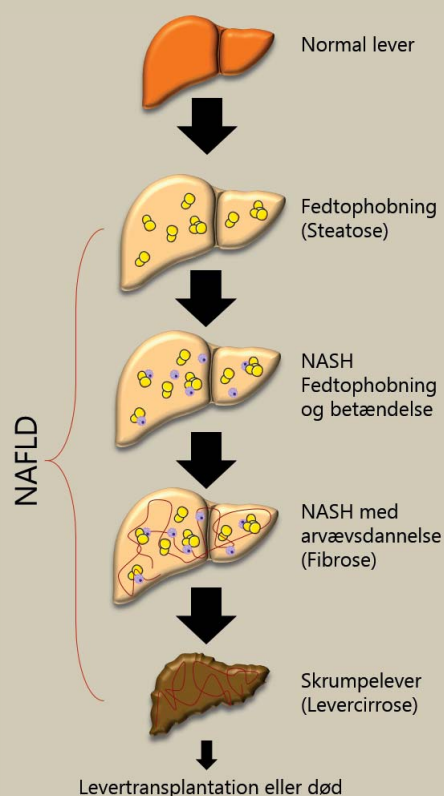
hobningen og den efterfølgende betændelsestilstand kan ligne NAFLD, er den bagvedliggende sygdomsårsag markant forskellig fra menneskets. Så skønt mange af de nuværende dyremodeller har givet et øget indblik i NAFLD, er der stadig stort behov for at udvikle bedre og mere præcise modeller, hvis vi skal finde frem til en behandling af sygdommen. I vores forskning bruger vi marsvin, som er en forholdsvis ny dyremodel for NAFLD, og det har givet lovende resultater.

Når fedtet fylder leveren

Leveren spiller en afgørende rolle i kroppens fordøjelse og stofskifte. Når vi spiser et måltid, bringes næringsstofferne fra tarmen direkte til leveren og videre herfra ud i blodet. Det er derfor ikke mærkeligt, at leveren påvirkes af en usund kost, og spiser man mere energi, end man forbrænder, kan det ophobes i leveren som fedt. Leveren vokser og bliver meget lys, som man for eksempel kender det

Ikke-alkoholisk fedtlever

Ikke-alkoholisk fedtlever (NAFLD) dækker over en gruppe af leversygdomme. Karakteristisk for dem alle er ophobningen af fedt i leveren (steatose), som ikke skyldes et højt indtag af alkohol. Med tiden udvikler dette sig til en betændelsestilstand i leveren kaldet ikke-alkoholisk steatohepatitis (NASH). Denne betændelsestilstand, og det konstante pres det høje fedtniveau udsætter leveren for, resulterer i sidste ende i arvævsdannelse (fibrose). Over tid kommer arvævet til at erstatte mere og mere af det normale levervæv, og resultatet bliver en skrumpelever (levercirrose). På grund af de store mængder arvæv kan leveren ikke længere fungere normalt, og det er nødvendigt med en levertransplantation, hvis patienten skal overleve.

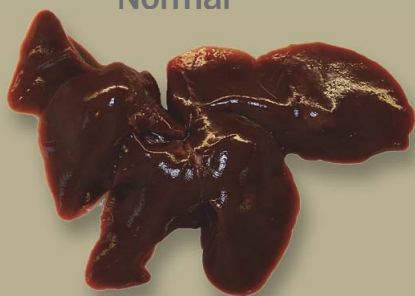


Biomarkører

En biomarkør er en molekylær indikator for en biologisk proces eller tilstand, som typisk måles i for eksempel blod eller urin. Biomarkører kan bruges til at vurdere, hvorvidt en patient har en bestemt sygdom og/eller om behandlingen af denne sygdom virker. En af de hyppigst anvendte biomarkører er C-reaktivt protein (CRP), som ofte måles i en lille bloddråbe hos den praktiserende læge, til at vurdere, om patienten har en infektion.

En sund lever og en lever med ikke-alkoholisk steatohepatitis

Normal

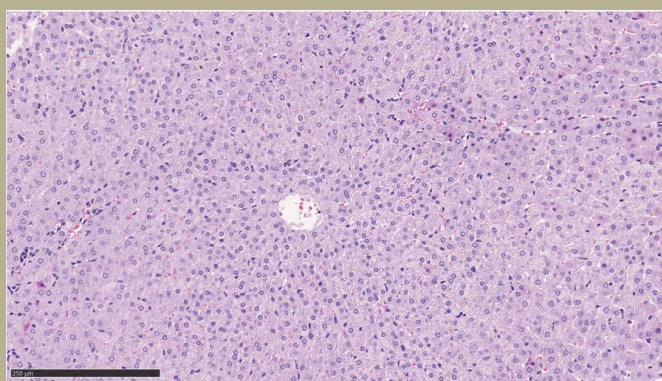


En normal lever fra et raskt marsvin.

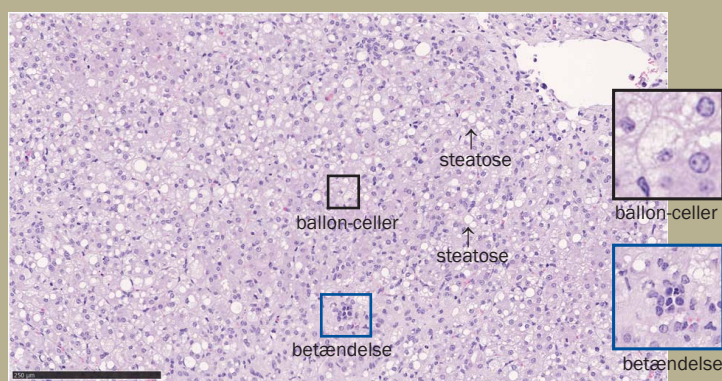
NASH



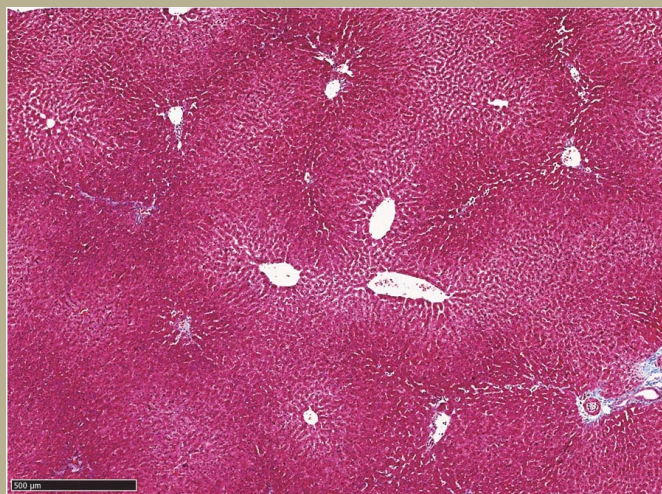
En lever med ikke-alkoholisk steatohepatitis (NASH) fra et marsvin, som har spist usund kost med meget fedt. Leveren er tydeligt forstørret og er langt mere bleg i farven, fordi den er fyldt med fedt.



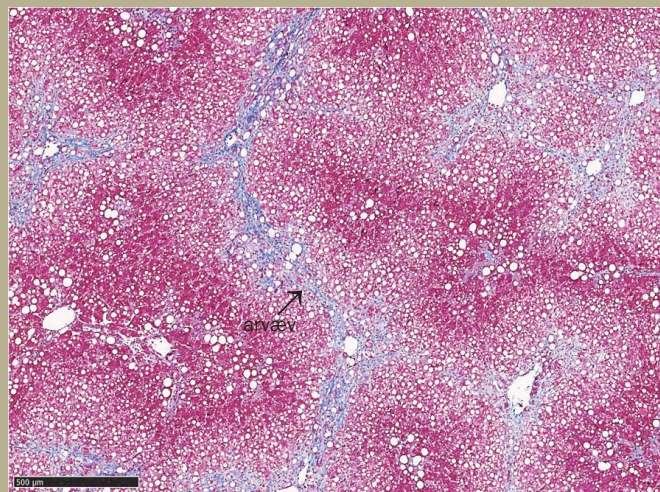
En normal lever til venstre samt en NASH-lever set under et mikroskop. Der kigges efter tre klassiske forandringer for at stille diagnosen NASH. Man undersøger, om der er fedtophobning i levercellerne



(steatose;), betændelse (immunceller fra blodbanen, som infiltrerer levervævet); og ballon-celler (oppustede leverceller, som er runde, modsat deres ellers normale karakteristiske kantede levercelleform).



Sammenligner man mikroskopibillederne fra det raske og syge dyr, kan man se forandringerne i levervævet, og hvordan dette mister sin ellers meget strukturerede opbygning. De små runde cirkler er fedt, som er tilstede overalt i leveren. Arvæv (fibrose) er farvet blå. Der er næsten intet arvæv



tilstede i den raske lever, men i leveren med NASH (billedet til højre) er der unormalt meget arvæv. Bemærk, hvordan arvævet danner "broer" på tværs af levervævet, det er dette, der kaldes "brodannende fibrose" og indikerer fremskreden leversygdom.

fra *foie gras* (meget fed andelever), og denne fedtoplagring belaster levercellerne.

Ophobningen af fedt i leverecellerne kaldes steatose og er en del af sygdommen NAFLD, som dækker over en række sygdomstilstande i leveren. Fedtet kan skade leverens celler så meget, at de begynder at dø. Når levercellerne dør, aktiveres immunsystemet, og der skabes en kronisk betændelsestilstand, som i sig selv kan skade levercellerne. Sygdommen har nu udviklet sig til non-alkoholisk steatohepatitis (NASH) (hepatitis = betændelse i leveren), som er alvorlig og påvirker leverens funktion. Udover at aktivere immunsystemet, udskiller de døende leverceller en række signalstoffer, som fremmer en helingsproces for at reparere leverens skade. Her udskiftes døde leverceller, og der dannes arvæv (fibrose). I en normal, sund lever er et mindre område med arvæv ikke et stort problem, men en lever med NASH er på forhånd overbelastet, og den aktiverede signalering påvirker leveren til at blive ved med at danne arvæv i stedet for at afslutte helingsprocessen. I sidste ende kan det ophobede arvæv, sammen med betændelsen, resultere i livstruende skrumpelever (cirrose) og leverkræft. Vi ved fra befolkningsundersøgelser, at netop dannelse af arvæv i leveren er den mest betydningsfulde faktor for overlevelsen af patienter med NAFLD; jo mere arvæv, jo større sandsynlighed for at dø.

Kompliceret diagnose og manglende biomarkører

En af de største udfordringer indenfor NAFLD er selve diagnosen. Denne baseres i dag på karakteristiske forandringer i leveren og af dens celler, og det er derfor nødvendigt at udtage en leverbiopsi og se på levervævet i et mikroskop. Leverbiopsier udtages ved at stikke en nål igennem huden og derefter ind i leveren. Selvom indgrebet foretages på et hospital, er der en vis risiko for patienten, og det er derfor heller ikke en procedure, der foretages

rutinemæssigt eller mange gange på samme person. Dette gør det ikke kun til en udfordring at identificere patienter og stille diagnosen i tide, men også at vurdere, om en behandling virker. Derfor forskes der i øjeblikket meget i at finde en eller flere såkaldte biomarkører, som afspejler sygdomsforløbet og som rutinemæssigt kan måles i blod- eller urinprøver.

Marsvinet er en unik model

Marsvin har nogle helt særlige egenskaber i forhold til ernærings- og stofskiftesygdomme herunder i leverens omsætning af fedt. For eksempel transporterer både marsvin og mennesker hovedsageligt deres kolesterol i såkaldte LDL-partikler, i modsætning til for eksempel mus og rotter. En række af de enzymer, som er vigtige for omsætningen af fedt i mennesker, findes også i marsvin, hvilket stemmer godt overens med en udvikling af NAFLD, som er meget lig sygdommen hos mennesker.

I vores marsvineforsøg efterligner vi spisevanerne for NAFLD-patienter. Dyrene fodres med foder, der er specialfremstillet til marsvin, men kan bedst sammenlignes med fastfood, som har et højt indhold af energi fra fedt og kulhydrater og indeholder kolesterol. Marsvine udvikler herefter fedtlever og ophober kolesterol i blodet ligesom mennesker. Som sygdommen skridder frem, udvikles der betændelse i leveren (NASH), og der dannes – ligesom i mennesker – arvæv, som bliver mere og mere udtalt over tid. Marsvinet afspejler altså både de tidlige og fremskredne faser af sygdommen. Ved samtidig at undersøge de gener, som styrer dannelsen af arvæv, har vi erfaret, at marsvinet også her ligner mennesket. Dette gælder også de gener, som koder for proteiner og signalstoffer, der er involveret i leverbetændelsen, samt i dannelsen af nye fedtsyrer (der paradoksalt nok øges i en lever, som i forvejen er fuld af fedt).

Marsvinet er dermed et vigtigt redskab til at undersøge de syg-

domsmekanismer og signaler, der ligger til grund for NAFLD. Når sygdommens mekanismer forstås, kan vi også se nærmere på, hvordan et lægemiddel eventuelt kan bruges til behandling af patienterne. Med marsvinet som dyremodel, kan vi teste virkningen af et lægemiddel i forskellige sygdomsfaser, for eksempel tidlige eller sene stadier af NAFLD. Dette kan hjælpe i vurderingen af, hvornår man skal gribe ind hos mennesker for at opnå det bedste behandlingsresultat.

Sideløbende arbejder vi også på at identificere biomarkører, som kan gøre det muligt at diagnosticere patienter uden at skulle udtage en leverbiopsi. Vi undersøger blandt andet, om man kan bruge disse biomarkører til at adskille forskellige sygdomsstadier, for eksempel let fra svær arvævsdannelse, og om biomarkørerne kan bruges til efterfølgende at vurdere effekten af en behandling.

Endnu ingen godkendt behandling

Til trods for den store udbredelse af NAFLD og NASH og en intensiv forskningsindsats, findes der endnu ingen godkendt medicinsk behandling af sygdommen. Patienterne er ofte overvægtige og spiser usundt, og man ved fra kliniske studier, at livsstilsændringer og vægttab virker effektivt mod NASH. Desværre er det af mange grunde svært at fastholde livsstilsændringer, og derfor er medicinsk behandling, i kombination med blandt andet kostvejledning, formentlig den bedste vej til helbredelse. Dog har sygdommens kompleksitet indtil videre vanskeliggjort udviklingen af effektive lægemidler, og der er derfor stadig et stort behov for at lære mere om NAFLD, NASH og fibrose.

Vi håber igennem vores forskning med en unik dyremodel for sygdommen at kunne bidrage til udviklingen af en effektiv behandling til denne stadig voksende patientgruppe, som i dag ikke kan tilbydes en virksom medicin. ■

Forslag til yderligere læsning

Tveden-Nyborg P, Birck MM, Ipsen DH, Thiesen T, de Bie Feldmann L, Lindblad MM, Jensen HE, Lykkesfeldt J. Diet-induced dyslipidemia leads to nonalcoholic fatty liver disease and oxidative stress in guinea pigs. *Translational Research*. 2016 Feb 1;168:146-60.

Ipsen DH, Lykkesfeldt J, Tveden-Nyborg P. Molecular mechanisms of hepatic lipid accumulation in non-alcoholic fatty liver disease. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2018 Sep 1;75(18):3313-27.

Ipsen DH, Tveden-Nyborg P, Rolin B, Rakipovski G, Beck M, Mortensen LW, Færk L, Heegaard PM, Møller P, Lykkesfeldt J. High-fat but not sucrose intake is essential for induction of dyslipidemia and non-alcoholic steatohepatitis in guinea pigs. *Nutrition & Metabolism*. 2016 Dec;13(1):51.

Henriette Elisabeth Autzen i laboratoriet ved University of California, San Francisco. Foto: University of California



KAPLØBET OM MEMBRANPROTEINET “TRPM4”

Ny teknologi gør, at forskere kan kortlægge membranproteiner med meget større præcision end tidligere. Opdagelserne er nødvendige for at kunne udvikle medicin mod blandt andet hud- og hjertesygdomme, men konkurrencen inden for forskningsområdet er brutal.

Om forfatteren
Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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

Det lyder som noget, der er taget ud af et afsnit af 24 timer med Kiefer Sutherland i rollen som agenten Jack Bauer, der i kapløb med tiden forsøger at forhindre verdens undergang.

Det var midt i april 2017, og post-doc Henriette Elisabeth Autzen stod foroverbøjet over mikroskopet i sit laboratorie ved Department of Biochemistry and Biophysics ved University of California San Francisco. Hun var i færd med som den første i verden at kortlægge strukturen af proteinet TRPM4 (transient receptor

potential cation channel subfamily M member 4), der spiller en stor rolle i udviklingen af forskellige hjerte- og hudsygdomme. Det var på mange måde ukendt terræn for den unge forsker, for hun arbejdede med en teknik, kaldet cryoEM (cryogenisk elektronmikroskopi), hvis hastige udvikling inden for blot få år havde kastet helt nye indsigter i proteiners strukturer af sig. Der var endda tale om, at Nobelprisen samme år kunne tilfalde forskerne bag udviklingen af teknikken.

Den dag i 2017 kom Henriette Elisabeth Autzens chef, professor

Yifan Cheng, dog ind i laboratoriet med nedslående insider-information. Han havde fra sin gode ven og kollega erfaret, at denne var lige på trapperne med en offentliggørelse af strukturen af TRPM4. Det ville gøre måneder af Henriette Elisabeth Autzens forskningsarbejde til rene spildtimer, for i forskningens verden er der sjældent medaljer til nummer 2.

»Det var virkelig surt. Inden for det felt, jeg arbejder i, er folk ekstremt kompetitive, hvilket betyder, at hvis man trækker vejret én gang for meget i sin forskning, bliver man

TRPM – en gruppe af membranproteiner

TRPM (transient receptor potential cation channel subfamily M) er en gruppe af membranproteiner, der sidder i kroppens celler og medierer transport af forskellige ioner over cellemembranen. Det drejer sig blandt andet om ionerne kalium, calcium og natrium. TRPM-familien består af 8 proteiner, der er nummere-

rede fra 1 til 8, og deres funktioner afhænger i særdeleshed af, hvor i kroppen de befinder sig. Ud over TRPM-proteinerne findes der i familien også andre TRP-proteiner. De inkluderer blandt andet TRPV1, der binder til capsaicin og derfor er ansvarlig for fornemmelsen af at spise chili.

TRPM-underfamilien består af:

- **TRPM1**, der spiller en rolle for vores syn. Fejl i genet bag proteinet er koblet til natblindhed hos mennesker. TRPM1 er desuden koblet til den plettede struktur i Appaloosa-hestes pels.
- **TRPM2** findes specielt i hjernen, men er koblet til mange forskellige funktioner i kroppen, herunder immunforsvarets funktion og udskilning af insulin fra bugspytkirtlen. TRPM2s mange funktioner gør, at det kan kobles til en lang række sygdomme fra bipolar og Alzheimers til autoimmune sygdomme som gigt samt fedme og diabetes. TRPM2 er også involveret i vores muligheder for at fornemme varme i spektret fra 33 til 38 grader celsius.
- **TRPM3** er koblet til udskilning af insulin fra bugspytkirtlen og dermed muligvis involveret i kroppens glukosehomeostase.
- **TRPM4** findes fortrinsvis i blodårerne og i hjertemusklen, hvor proteinet er involveret i afvikling af de elektriske signaler, som holder hjertet kørende. Mutationer i TRPM 4 er koblet til øget risiko for hjertesygdommene progressiv arvelig hjerterytmeforstyrrelse og Brugada syndrom samt hudsygdommen PSEK.
- **TRPM5** spiller en rolle for blandt andet smagsfornemmelse. Eksempelvis er proteinet involveret, når vi smager noget bittert, sødt eller umami. Proteinet er også koblet til signalering i forhold til smagen af fedt. TRPM5 sidder i bugspytkirtlen, hvor det er en del af mekanismen bag udskilning af insulin i forbindelse med et måltid. Aktivisering af TRPM5 kan i mus lede til øget udskillelse af insulin og dermed beskytte mod type 2-diabetes.
- **TRPM6** er involveret i reguleringen af magnesiummoptag i leveren og i tarmene.
- **TRPM7** er blandt andet involveret i immunforsvarets funktion i tarmene. Proteinet er også essentielt for cellers muligheder for at hænge sammen i et væv.
- **TRPM8** er udtrykt i lungerne, blæren og prostata og forbundet med følelsen af kulde og koldesmerter. Derudover aktiveres TRPM8 også af stofferne mentol og icillin og er på den måde ansvarlig for kuldefølelsen, der opstår i munden, halsen og lunger ved at spise et mentolbolsche.

overhalet inden om af andre. Så kan rigtig mange timer i laboratoriet være spildt. På daværende tidspunkt havde jeg kun en grovkornet skitse af TRPM4, så jeg var ikke i nærheden af at kunne publicere noget fornuftigt. Jeg var i den grad på bagkant, men jeg ville ikke give op,« fortæller Henriette Elisabeth Autzen.

Fra det tidspunkt blev Henriette Elisabeth Autzens forskningsarbejde et hæsblæsende ræs for ikke at komme til at stå tilbage i kulissen, når laurbærerne for kortlægningen af TRPM4 skulle uddeles.

Indhentede modstanderne på målstregen

Den endelig forløsning på mange måneders hårdt arbejde i kapløb med tiden kom i januar 2018, da Henriette Elisabeth Autzens kortlægning af TRPM4 endelig kom på tryk i *Science*. For forskere, som konstant skal knæfalde for fonde for at få forskningsmidler, er en artikel i *Science* som at få den ultimative blåstempling af deres arbejde. Det gør det også meget lettere at få penge til videre forskning.

Historien slutter dog ikke her. Som ved et rent lykketræf udgav *Nature* i

samme uge ikke blot én anden forskergruppes kortlægning af TRPM4, men også en tredje kortlægning af præcis det samme membranprotein. Derudover kom der i *Science* et fjerde studie af en tæt beslægtet TRPM-kanal, TRPM8. Mange måneders benhårdt arbejde i et voldsomt opskruet tempo havde altså resulteret i, at fire forskergrupper kom ud med deres forskningsresultater på præcis samme tid i starten af 2018.

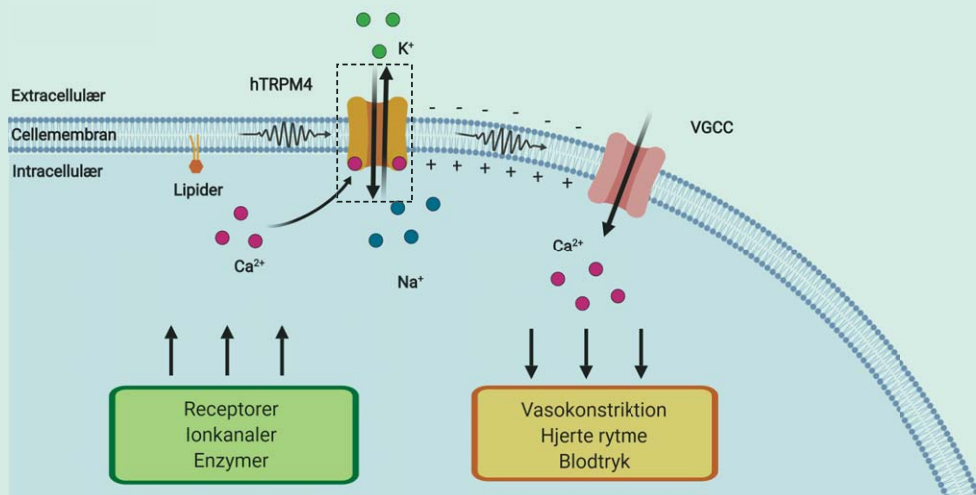
Senere fandt Henriette Elisabeth Autzen ud af, at den tredje forskergruppe fra *Nature* faktisk havde



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

hTRPM4 i en simplificeret celle

Den præcise effekt af hTRPM4 afhænger af celletypen, som den findes i, men hTRPM4 fungerer altid som et calciumafhængigt reguleringscheckpoint i cellerne. hTRPM4 aktiveres af en forhøjet intracellulær calciumkoncentration (pink), membrandepolarisering (kurvet pil) og lipider (orange) i cellemembranen. Disse signaler initieres af andre kanaler, receptorer og enzymer som respons på signaler fra det ekstra- og intracellulære miljø. Calciumioner binder til det calcium-bindingssted, som Henriette Autzen og hendes kollegaer identificerede i hTRPM4 og får dermed hTRPM4 til at åbne. Åbningen af



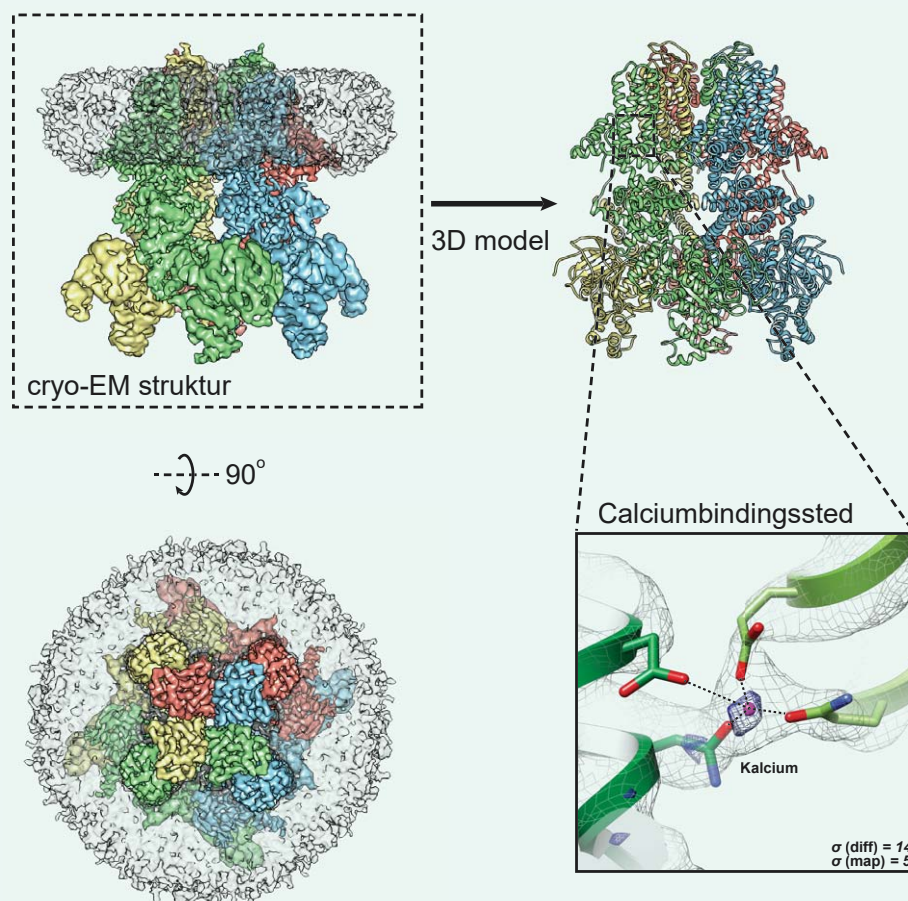
hTRPM4 får natriumioner til at flyde ind i cellen, mens kalium samtidigt flyder ud. Netto opbygges der en positiv ladning på indersiden af cellemembranen og en negativ ladning på ydersiden. Denne depolarisering af cellemembranen påvirker andre kanaler, f.eks. VGCC som får mere calcium til at flyde ind i cellen, som i hjertet får muskelfibre til at trække sig sammen. På figuren ses hTRPM4 som en simplificeret orange kanal og VGCC i lyserød.

Cryo-EM strukturen af hTRPM4

Cryo-EM strukturen

af hTRPM4 set fra hvad der svarer til membranplanen og oppefra membran ydersiden. hTRPM4 består af fire individuelle kæder (blå, gul, rød og blå) som associerer med hinanden og dermed danner en kanal i midten, hvorigennem natrium og kalium kan flyde ind og ud af cellen. Strukturen kan bruges til at lave en model af hTRPM4.

Figurens højre del viser et udsnit af modellen af hTRPM i grønne farver, som er overlagt med cryo-EM-densiteten vist som en grå densitet. Calciumionen er vist som en pink sfære. Figuren illustrerer, at opløsningen af cryo-EM-densiteter i dag er så gode, at man med stor sikkerhed kan identificere ioner og mindre stoffer bundet til proteiner.



været foran hende gennem hele forløbet, men at hun havde indhentet dem præcis på målstregen. Havde hun haft influenza en uge undervejs, var hun kommet for sent til afslutningsfesten, og så havde næsten et helt års arbejde været forgæves.

»Mange forskere ender med helt at skulle opgive mange måneder eller års arbejde, fordi de bliver overhalet inden om af andre, så det var helt fantastisk, at jeg nåede det. Derudover havde vi tre forskningsgrupper, som havde arbejdet på TRPM4 hver for sig, angrebet problemstillingen lidt forskelligt, så selvom vi alle sammen havde kortlagt det frie membranprotein, havde vi hver især også lavet en kortlægning, hvor det var bundet til forskellige andre molekyler. Det gjorde den samlede pakke meget overbevisende,« forklarer Henriette Elisabeth Autzen.

Involveret i hjertesygdomme

TRPM4, der var omdrejningspunktet i det forskningsdrama, som udspillede sig i slutningen af 2017, er en ionkanal, der sidder i rigtig mange af kroppens celler. Her danner det en passage gennem cellemembranen, som ionerne kalium og natrium kan passere igennem. Natrium og kalium er med til at styre mange af cellernes funktioner, blandt andet optag af næringsstoffer eller evnen til at sende elektriske signaler til nabocellerne. Det betyder, at uden ionkanaler og ionpumper til at transportere de to typer ioner over membranen, bliver cellerne som døde fisk i vandet. De kan ingenting.

TRPM4 findes især i vores blodårer og i hjertet. Specifikt for TRPM4 gælder det, at forskere har koblet mutationer i de gener, der står bag TRPM4, sammen med udvikling af sygdommen progressiv arvelig hjerterytmeforstyrrelse. Lidelsen er forholdsvis sjælden, men kan lede til både besvimelse, pludseligt hjer-testop og dødsfald.

Mutationer i TRPM4 opstår generelt

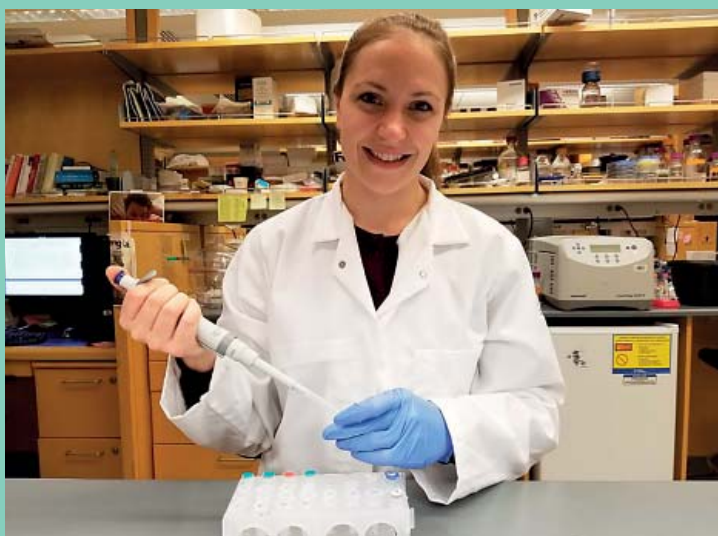


Foto: University of California, San Francisco.

Om forskeren:

Henriette Elisabeth Autzen er postdoc ved Department of Biochemistry and Biophysics, University of California, San Francisco (UCSF), hvor hun er udsendt fra Molekylær Biologisk Institut, Aarhus Universitet. Henriette er født og opvokset i Aalborg, men fik sin bachelor og kandidatuddannelse i medicinal kemi ved Kemisk Institut ved Aarhus Universitet og senere sin ph.d. ved Molekylær Biologisk Institut også ved Aarhus Universitet.

Henriette tog med økonomisk støtte fra Den Frie Forskningsfond til UCSF i starten af 2016 for at løse strukturen af TRPM4 og samtidig lære at benytte cryo-EM. Henriettes forskningsinteresser centrerer sig omkring struktur- og funktionsstudier af ionkanaler, og det er især med henblik på at undersøge deres interaktioner med syntetiske molekyler og den omkringliggende lipidmembran.

i enkelte af proteinets byggesten, hvilket ofte ændrer på dets funktionalitet, så det bliver enten mere eller mindre aktivt i cellemembranen. Denne ændring i aktivitet forskyder den hårfine balance mellem kalium og natrium både indeni og udenfor cellen, hvilket forstyrrer de elektriske signaler, som cellen udsender.

Da TRPM4 fortrinsvis sidder i hjertermusklen, leder mutationerne til, at cellerne ikke kan producere de elektriske signaler, der skal til for at opretholde en normal hjerterytme. Derudover går cellerne ofte til grunde og bliver til arvæv, hvilket yderligere kan styrke graden af hjerterytmeforstyrrelser.

Mutationer i TRPM4 kan også lede til udvikling af hjertesygdommen Brugada syndrom, der også involve-

rer hjerterytmeforstyrrelser og risiko for pludseligt dødsfald.

»Det var det protein, som vi kortlagde. For nogle måneder siden fandt forskere også ud af, at mutationer i TRPM4 er involveret i udvikling af hudsygdommen progressiv symmetrisk erytrokeratoderma også kaldet PSEK. Proteinets spiller altså ind flere forskellige steder i forskellige sygdomme, hvilket kun gør det mere interessant,« siger Henriette Elisabeth Autzen.

Åbner for ny medicin og færre bivirkninger

Interessen for TRPM4 skyldes blandt andet, at man på den lange bane gerne vil bruge viden om strukturen af proteinet til at designe medicin mod de pågældende sygdomme. For at biokemikere skal



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

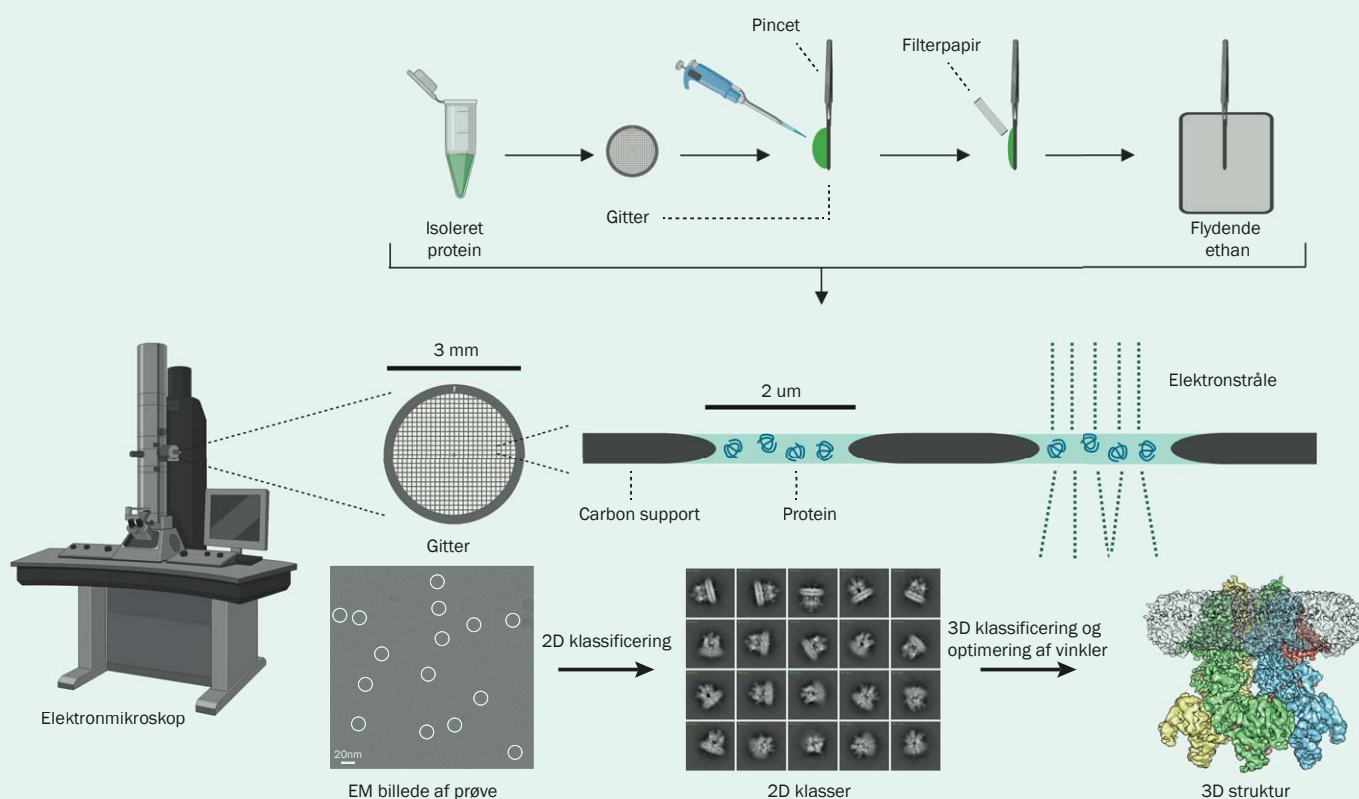
Sådan fungerer cryo-EM

Kryo-elektronmikroskopi (forkortet cryo-EM på engelsk) har forskere udviklet på i lige så lang tid, som de har udviklet på røntgenkrystallografi, men teknikken kunne indtil for få år siden ikke bruges til at bestemme den atomistiske struktur af proteiner. Udvikling af både hardware og software har dog gjort cryo-EM konkurrencedygtig i forhold til røntgenkrystallografi, og i 2017 gik nobelprisen i kemi til Joachim Frank, Richard Henderson og Jacques Dubochet, der er tre prominente forskere, som har bidraget til udvik-

lingen af cryo-EM som metode.

I cryo-EM inkorporerer man det isolerede protein i en tynd film af is med en temperatur på -195 grader celsius. På grund af den lave temperatur bliver vandet i prøven ikke til krystallinsk is med en regulær struktur, som man kender det fra isterninger i fryseren, men i stedet ligesom glas amorf og uden regulære interaktioner. Dette fastholder proteinets tilstand, som var det i en opløsning i modsætning til i et krystalgitter, hvilket bruges i

røntgenkrystallografi. I et mikroskop skyder forskere på den tynde film af proteiner med elektroner, og elektronerne interaktioner med proteinerne bruger de til at projicere billeder af proteinerne i 2D. Billeder af flere hundredtusinder identiske proteiner med alle mulige tilfældige orienteringer bliver fanget i 2D og sættes sammen til en 3D-struktur ved hjælp af avancerede algoritmer, som kan relatere billedernes vinkel i forhold til hinanden. Ud fra 3D-strukturen kan forskerne derefter bygge en atomistisk model.



Figuren viser processen i kryo-elektronmikroskopi. Det isolerede protein påføres et 3 mm gitter, hvorefter det meste af prøven fjernes igen med filterpapir. Prøven, som bliver tilbage, ender i huller i gitteret og fryses hurtigt i flydende ethan ved cirka -195 grader celsius. Dette skaber en amorf is med proteinet, som ligger i mange forskellige orienteringer i den nu frosne buffer i gitteret. Herefter bliver gitteret med prøven sat ind i vakuumet på et elektronmikroskop og skudt på med elektroner. Mange tusind projektioner af enkelte proteiner ekstraheres, hvorefter de kan blive sammensat i 2D og efterfølgende 3D. 3D-strukturen kan forfines ved at optimere bestemmelsen af vinkler, som de enkelte proteiner antager i forhold til hinanden.

kunne designe molekyler, der eksempelvis blokerer for funktionen af TRMP4, så det ikke forårsager hjertetrytmeforstyrrelser, skal de have et overblik over, hvordan proteinet ser ud for på den måde at finde steder, hvor de kan koble et blokerende molekyle på. Det kan de nu på baggrund af det arbejde, som Henriette

Elisabeth Autzen har lavet.

Ydermere er TRMP4 kun ét protein ud af en stor familie af lignende proteiner. Det betyder, at når lægemiddelproducenter forsøger at lave lægemidler, der blokerer for det ene protein, er der risiko for, at de også kommer til at blokere for et

andet. Gør de det, kan det lede til uheldige bivirkninger. For eksempel er søsterproteinet TRPM5 involveret i udvikling af diabetes. Når TRPM5 aktiveres, stiger produktion af insulin i bugspytkirtlen. Derfor ville det være meget uheldigt, hvis lægemiddelindustrien fik designet et molekyle til at blokere

for TRPM4, som samtidig blokerer for TRPM5 og for bugspytkirtlens udskilning af insulin.

»Her er det nødvendigt at kende til strukturerne af alle proteinerne i familien, så man ved, hvilke forskelle der er mellem dem. Ellers kan man komme til at blokere for eller på anden måde påvirke flere af dem, når man bare vil ramme det ene,« forklarer Henriette Elisabeth Autzen.

Finder forskelle i TRP-familien

På det mere detaljerede plan viste Henriette Elisabeth Autzens kortlægning af TRPM4 fra 2017/2018 blandt andet, at proteinet kun danner en smal kanal gennem cellemembranen. Der er formentlig er forklaringen på, at TRPM4 sammen med TRPM5 er de eneste ud af TRP-familiens 27 proteiner, som ikke lader calcium passere igennem.

Selvom calcium altså ikke kan passere gennem TRPM4, spiller ionen dog stadig en tilsyneladende vigtig rolle for membranproteinets funktion. I hvert fald viser Henriette Elisabeth Autzens kortlægning, at der på TRPM4 findes et domæne, hvor calcium kan binde og derved ændre strukturen og formentlig også funktionen af TRPM4.

»Vi fandt ud af, at det her sted på TRPM4, hvor calcium kan binde, faktisk sidder helt inde i den del af proteinet, som sidder i cellemembranen. Det fortæller os noget om, hvordan kanalen fungerer og aktiveres. Siden vores opdagelse har andre forskere fundet lignende domæner i andre TRP-proteiner, og det kommer til at være interessant at finde ud af, hvorfor nogle proteiner inden for familien tilsyneladende lader calcium passere igennem, mens andre blot binder det som en del af deres aktivering,« siger Henriette Elisabeth Autzen.

Ydermere fandt hun i sin strukturelle kortlægning, at TRPM4 har et meget stort cytoplasmisk domæne, hvilket er den del af membranproteinet, som sidder uden for

cellen. I en medicinsk sammenhæng er det cytoplasmiske domæne formentlig det mest interessante. Det vil være her, at man vil forsøge at udvikle forskellige molekyler, som kan binde til og blokere funktionen af membranproteinet. De cytoplasmiske domæner varierer også meget mellem de forskellige proteiner i familien, og hos TRPM4 er domænet relativt stort i forhold til i de andre proteiner.

»Det gør det mere realistisk at tro på, at man kan udvikle et molekyle, som kun binder til TRPM4 uden at binde til de andre proteiner i TRP-familien,« siger Henriette Elisabeth Autzen.

Ny teknik giver bedre kortlægning af proteiner

I sin forskning har Henriette Elisabeth Autzen benyttet en helt ny teknik til at kortlægge proteiner med. Metoden hedder cryoEM, og hendes chef, professor Yifan Cheng, var den første forsker til at benytte teknikken til at kortlægge strukturen af et membranprotein, nemlig TRPV1 som interagerer med capsaicin, der er det aktive stof i chilipeber.

Strukturel kortlægning af proteiner ved hjælp af cryoEM fungerer på denne måde:

Indledningsvist udtrykker forskerne det ønskede protein i en cellelinje. Henriette Elisabeth Autzen benyttede sig i sin forskning af en human cellelinje. Efterfølgende isolerer forskerne proteinerne i et opløsningsmiddel, der tillader membranproteinernes fedtelskende dele at være tolerante overfor en vandbaseret opløsning. Ved at udtrykke proteinet i samme sekvens som en proteinmarkør, som forskere har specialiserede værktøjer til at fange, kan forskerne bagefter isolere de specifikke proteiner, som de vil undersøge, fra alle de andre proteiner i en celle.

Når først proteinet er oprenset, plader forskerne det ud over et lille gitter og fryser det øjeblikkeligt med ethan, der er nedkølet ved hjælp

af flydende kvælstof. Herefter kan de fotografere det med et elektronmikroskop, som beskyder proteinet med elektroner fra alle tænkelige vinkler. Det giver udslag i form af en masse 2D repræsentationer af proteinet. En matematisk algoritme sætter efterfølgende alle de mange billeder sammen til en 3D-model. Voila!

»Det svarer til, at en fotograf går rundt om et objekt og tager en masse billeder, som han derefter sætter sammen til noget, der kan illustreres i 3D,« forklarer Henriette Elisabeth Autzen.

Vil kortlægge muterede proteiner

Foruden de medicinske indsigter, som kan komme ud af at kortlægge membranproteiner, kan forskningen også bruges til at blive klogere på cellerne i sig selv.

Calcium er på den ene eller anden måde involveret i reguleringen af alle TRPM-membranproteinerne, og calcium er måske det vigtigste af kroppens signalmolekyler. Ved at forstå, hvordan calcium spiller sammen med TRPM-proteinerne, får forskerne indsigt i, hvordan celler i det hele taget reguleres, kommunikerer og fungerer. Det er vigtigt at vide, ikke kun for at kunne kurere sygdomme, men også for overhovedet at kunne forstå, hvorfor de opstår, når noget går galt i generne.

I den sammenhæng spiller Henriette Elisabeth Autzens forskning indtil videre kun en lille rolle, men det kan ændre sig.

»På nuværende tidspunkt drejer min forskning sig om at følge op på de fund, som vi gjorde i 2017 og 2018. Mere specifikt vil jeg meget gerne kortlægge proteinet, når der er opstået en mutation i det og finde ud af, hvilken rolle den omkringliggende lipidmembran spiller. Det kan forhåbentlig være med til at komme med en molekylærbiologisk forklaring på, hvordan mutationer i generne bag TRPM4 kan resultere i hjerte- og hudsygdomme,« siger Henriette Elisabeth Autzen. ■

Videre læsning:
Henriette E. Autzen, Alexander G. Myasnikov, Melody G. Campbell, Daniel Asarnow, David Julius, Yifan Cheng: Structure of the human TRPM4 ion channel in a lipid nanodisc. *Science* 12 Jan 2018: Vol. 359, Issue 6372, pp. 228-232. DOI: 10.1126/science.aar4510

VAND- LOPPER KAN DISRUPT MARIN FISKEOPDRÆT

Vandloppe af arten
Acartia tonsa (han).
Foto: Minh Thi Thui Vu.

Flere års intensiv forskning i vandlopper på Roskilde Universitet skal nu udmønte sig i en storskalaproduktion af vandlopper beregnet til fiskefoder. Det kan gøre opdræt af varmtvandsfisk til en bæredygtig forretning og sende danskproducerede Yellowtail Kingfish ud til sushirestauranter i hele Europa.



Om forskeren
Benni Winding Hansen
er professor ved
Institut for Natur-
videnskab og Miljø,
Roskilde Universitet.
bhansen@ruc.dk



Forfatteren
Torben Jarl Jørgensen
er kommunikations-
medarbejder ved
Institut for Naturviden-
skab og Miljø,
Roskilde Universitet.
toj@ruc.dk

Iet nyt forskningsprojekt støttet af blandt andet Den Europæiske Hav og Fiskerifond møder en fiskeproducentens virkelighed i Thy den allernyeste forskning i vandlopper. Projektet skal undersøge, hvordan resultater fra laboratorierne på Roskilde Universitet kan omsættes til en stabil, industriel udendørs produktion af vandloppelarver året rundt. En innovation som sikrer adgang til billigt foder med en optimal biokemisk profil for fiskelarvers overlevelse og vækst.

»Der er i dag et stort verdensmarked for salg af levende foder. Hvis dette marked kan disruptes af vandlopper, vil der være stort potentiale. Ikke bare økonomisk i forhold

til salg af vandlopper som levende fiskelarvefoder. Men også i forhold til at dyrke fisk af høj kvalitet og samtidigt sikre større diversitet i de arter, der opdrættes«, siger Benni Winding Hansen.

Han har siden midten af 1980'erne forsket i vandloppers økologi, biologi og fysiologi. Gennem de seneste 15 år er grundforskningen suppleret med anvendelsesorienterede projekter, der optimerer industriel produktionen af levende foder.

Vandlopper er naturens valg

Vandlopper er klodens mest udbredte flercellede organisme og har en helt central position i alle vandige økosystemer. Med undta-

gelse af laksefisk er alle fisks larver afhængige af levende foder, og netop vandloppelarver er i naturen den primære fødekilde for fisk på larvestadiet.

Vandlopper henter næring fra mikroalger med et højt indhold af omega 3- og 6-fedtsyrer. Vandloppelarvens fedtsyreprofil har afgørende betydning for fiskelarver, der har brug for den rigtige fedtsyrebalance for at udvikle blandt andet nervesystem, sanseapparat og pigmentering optimalt.

»Det giver altid god mening at lære af evolutionen, og vandlopper er naturens valg. Så det er oplagt at masseproducere vandlopper og

Vandlopper

Vandlopper er små (ofte mindre end en millimeter) krebsdyr, der lever i de frie vandmasser. De græsser mikroalger og bliver selv ædt af eksempelvis marine fiskelarver. De betragtes som klodens hyppigste flercellede organismer og er helt centrale for alle fødenet i de frie vandmasser. Vandlopperne starter livet som æg, klækker til såkaldte nauplii-larver, som de har 6 stadier af, og dernæst undergår de fuldstændig forvandling og bliver til copepoditlarver. Der er fem stadier af copepoditter, hvorefter de når slutstadiet som voksne hanner og hunner. På vore breddegrader er vandlopperens livscyklus på 2-3 uger.

En af de helt store barrierer for masseproduktion af vandlopper har været, at de ikke kan dyrkes ved så store tætheder som eksempelvis hjuldyr og saltsøkrebs (de traditionelle organismer, der anvendes som levende foder for marine fiskelarver). Forskerne på Roskilde Universitet har undersøgt grænsen for tætheder ved at måle på dyrenes svømmeadfærd, iltforbrug samt udtryk af deres stress-gener. Forskningsgruppen har også undersøgt, hvordan man kan nedbringe æg-kannibalisme af egne æg i en given vandloppekultur. Disse forskningsaktiviteter har ført frem til en anbefaling om en dyrkningstæthed

på 5000 og måske på sigt helt op til 10.000 individer per liter havvand. De praktiske dyrkningsomstændigheder bør være, at man belyser sine dyrkningstanke med diffust lys for at fremme homogen fordeling af vandlopperne i tankene, fodrer med mikroalger i høj koncentration, så vandlopperne græsser alger og ikke æg for at nedbringe æg-kannibalisme. Man bør også designe sine dyrkningstanke som relative lave tanke (1-2 m dybe), hvor man kontinuert høster æggene. Det sidste for at sikre, at vandloppeæggene hurtigt sedimenterer til bunden af dyrkningstankene og dermed fjernes fra dyrkningsvandet.

erstatte de foderemner, der bruges i dag», siger Benni Winding Hansen.

I dag spiller vandlopper en forsvindende lille rolle i industrien, der opdrætter havfisk. Som foderemner anvender industrien typisk de to organismer hjuldyr og saltsøkrebs, der begge hører naturligt hjemme i ferskvand. De er lette at anvende i produktion af fisk men er fattige på omega 3- og 6- fedtsyrer, og det har negative konsekvenser for fiskens overlevelse, udvikling og sidste ende også for produktionsomkostningerne.

Luksusproduktion er showcase

På verdensplan er fiskeriet stagneret, og i dag stammer cirka 50% af det samlede udbytte af fisk fra opdræt. Opdrættet fisk er samtidigt den hastigst voksende kilde til protein indenfor fødevarersektoren. Sammenholdt med et stigende befolkningstal gør det industriel produktion af fisk til en nødvendighed.

»Behovet for opdræt i akvakultur er enormt, og det samme er den kommercielle interesse. Akvakultur er ligesom svineindustrien en videnbaseret industri. Der skal særdeles meget forskning til for at strømline industrien og gøre den rentabel«, fortæller Benni Winding Hansen.



To biologer i færd med at tage prøver af plankton i en udendørs tank til produktion af vandlopper. I dette projekt var vandlopperne beregnet til brug som levende foder for pighvarlarver.
Foto: Per Meyer Jepsen

Opdræt af Yellowtail Kingfish er en luksusproduktion målrettet købestærke forbrugere, der sidder klar til at sætte spisepindene om sushi og sashimi. Det er netop fiskens høje kilopris, der skaber rum for at eksperimentere med at klække vandlopper som fiskelarvefoder året rundt.

»Yellowtail Kingfish opdrættet i tanke er bestemt ikke en billig proteinkilde, der kan løse verdensbehovet. Vi afprøver i stedet et nyt koncept på højværdifisk, som på længere sigt kan introduceres bredt i industrien, når produktionsformen er velafprøvet og omkostningerne falder«, konstaterer Benni Winding Hansen.

På kort sigt demonstrerer projektet også et stort kommercielt potentiale i en mere mangfoldig produktion af arter:

»Vi opdrætter i øjeblikket relativt få arter, og producenterne kan afsætte lige så mange højværdifisk, som de kan producere. Tun er et oplagt næste skridt. For frisk tun er en dyr og populær delikatesse, og det presser de naturlige bestande hårdt«, siger Benni Winding Hansen

Fra hvileæg til ægbank

Når algeproduktionen i havområderne aftager om vinteren på grund af kulde og mørke, er det også slut for vandlopperne. De lægger hvileæg, der går til bunds



Yellowtail Kingfish (*Seriola lalandi*) – eller australsk ravfisk på dansk – tilhører hestemakrelfamilien. Den kan blive knap et par meter lang og er en meget værdifuld spise-fisk. Foto: Shutterstock

Havfisk i akvakultur på globalt plan

Fiskeproduktion verden over er hovedsagelig baseret på ferskvandsarter. For øjeblikket er det kun et begrænset antal marine fiskearter, der opdrættes i store mængder på globalt plan. I alt er der cirka 25 arter af fisk i spil. De vigtigste arter er atlantisk laks, regnbueørred, coho laks, sea bream og havaborre med en totalproduktion på cirka 3 millioner tons om året.

Marine fisk produceres hovedsageligt i Asien, og Kina står for hovedparten. Ud af den samlede produktion af fisk kommer mere end 89% fra Kina, mens Europa står for blot for 3,7%. Den danske produktion af deciderede havarter er ganske ubetydelig. Blandt andet findes der en lille nicheproduktion af pighvar. Virksomheden Sashimi Royal i Hanstholm, som Benni Winding Hansen samarbejder med i projektet, satser nu på en dansk produktion af Yellowtail Kingfish.

i havet. Først når foråret kommer, bliver æggene hvirvlet op og klækket, så vandet igen bliver fyldt med vandlopper.

Industriel produktion af vandlopper året rundt tager udgangspunkt i samme cyklus. I laboratoriet kan Benni Winding Hansens forskningsgruppe simulere naturen og er nu i stand til at opbevare hvile-æg fra arten *Acartia tonsa* under kølige forhold i et år. Vel at mærke uden at æggene mister evnen til at klække.

»For opdrætterne betyder det, at der i fremtiden vil være adgang til et backup-system. Hvis produktionen af vandlopper bliver ramt af sygdom, uheld eller på anden måde svigter, kan de trække materiale ud af en "ægbank" baseret på kuldelagrede vandloppeæg. Det giver adgang til at producere vandloppelarver året rundt. Det er præcis den proces, vi skal gennemføre på storskala i produktionen af Yellowtail Kingfish i Nordjylland«, fortæller Benni Winding Hansen.

Også forsøg med at forlænge sæsonen for mikroalger – forudsætningen for dyrkning af vandlopper – indgår i produktionen af Yellowtail Kingfish. Det sker ved at overdække de udendørs vandloppetanke med drivhuse og opsætte kunstigt lys, så mikroalgerne kan formere sig i en større del af året og sikre vandlopperne føden.

Vandlopper uden stress

Gennem de seneste år er det lykkedes forskningsgruppen at skubbe grænserne for, hvor høj en tæthed vandlopperne kan dyrkes i. Det er et afgørende spørgsmål i en kommerciel produktion, hvor hver kubikmeter vand i bassinet er en udgift.

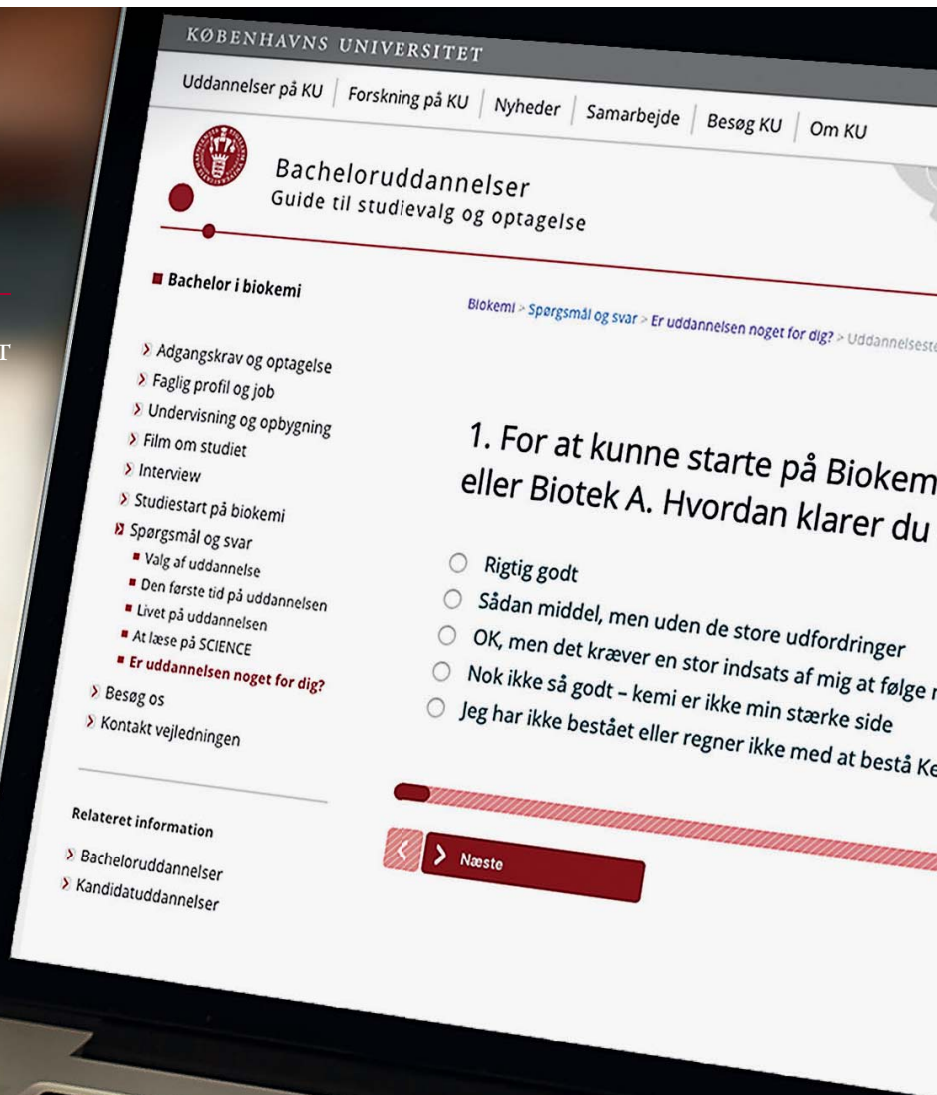
»For at øge densiteten skal vi måle på de rigtige ting. I starten målte vi på dødelighed, men der skal meget til for at slå en vandloppe ihjel. Vi skal i stedet måle på, hvornår de begynder at klare sig dårligere fysiologisk, og hvor længe vandlopperne kan reproducere sig selv. Det hele handler om det: At få produceret nogle æg! Senest har vi også på genniveau undersøgt, hvornår vandlopper i tætte kulturer bliver stressede«, fortæller Benni Winding Hansen.

Helt som tilfældet er med mennesker, afslører iltforbruget også stressniveauet hos vandlopper. På den baggrund er der som udtryk for trivsel målt på vandloppernes iltforbrug og bevægelsesmønstre, og det har givet ny viden om, hvornår organismens stressproteiner bliver aktiveret.

»Tidligere var det antagelsen, at der kun kunne gå et par tusind vandlopper pr. liter vand. Nu har vi påvist, at vi kan pakke vandlopperne op til 5.000-10.000 styk pr. liter før, de bliver påvirket af at gå tæt. Det er en kæmpe landvinning, at vi kan øge densiteten så voldsomt uden, at det har negativ indflydelse på vandloppernes evne til at lægge æg«, fortæller Benni Winding Hansen. ■



KØBENHAVNS UNIVERSITET



DET RIGTIGE STUDIEVALG TAGER TID

Brug tiden på at tage et **Uddannelsesjækket** på KU's naturvidenskabelige bacheloruddannelser. Så er du bedre rustet til studievalget inden ansøgningsfristen 5. juli.

Klik dig ind på den uddannelse, du er interesseret i på science.ku.dk/ba – du finder **Uddannelsesjækket** på studiets hjemmeside.

science.ku.dk/ba

BØGER

FAKTA

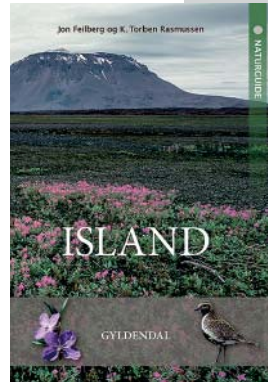


Anne Sverdrup-Thygeson:
Insekternes planet. Gyldendal 2019. 233 sider, 249,95 kr.

Insekternes planet

For hvert menneske på Jorden er der mere end 200 millioner insekter. Insekter er forunderlige og fascinerende, de har skelettet uden på kroppen, nogle har ører på knæene, nogle har tunge under fødderne og nogle har øjne på penis. Om dette og meget mere fortæller den norske professor Anne Sverdrup-Thygeson i bogen *Insekternes planet*, der er solgt til udgivelse i foreløbigt 19 lande.

FAKTA



Jon Feilberg og K. Torben Rasmussen:
Naturguide Island. Gyldendal 2019. 27 sider, 249,95 kr.

Naturguide Island

For den naturinteresserede er der her en guide til besøgende i Island, der vil vide noget om det eventyrlige land med dets geologiske ur-landskaber, sjældne fugle, pattedyr og planter. Bogen indeholder både generel information og nærmere beskrivelse af specifikke lokaliteter samt dyre- og plantearter.



sdu.dk/ing #sduing

Girls in Engineering Camp

24-timers TECH Challenge for piger

I denne 24-timers TECH Challenge dykker vi ned i ingeniørens verden og retter et særligt fokus på vindmølleindustri og -udvikling. Vi slår ned på flere aspekter af vindmølleproduktion, så uanset om man har interesse for specialiserede områder såsom materialeudvikling, vingedimensioner eller projektlederdelen med fokus på bredden, giver denne camp mulighed for at prøve kræfter med ingeniørernes verden i vindmølleindustrien.

Campen er tilpasset almindeligt gymnasieniveau og er opbygget som en business case, hvor man kommer til at dyste om at skabe den bedste, mest innovative eller på en helt tredje måde mest interessante vindmølle. Deltagelse er gratis, og vi sørger for forplejning samt overnatningsmulighed.

Hvornår? Fredag den 27.-28. september – 24 timer fra kl. 17.00-17.00.

Hvor? Afholdes på SDU i Odense og Sønderborg.

Tilmelding her: www.sdu.dk/gie

Nye undervisningsmaterialer

På aktuelnaturvidenskab.dk kan du finde masser af inspiration til din undervisning.

Forløb: Bæredygtig fødevareproduktion:

I forløbet inddrages artiklen *Kød uden kød eller dyr – hvordan det?* fra AN nr. 1/2019.

Fag: Bioteknologi A og biologi B/A.

Grøn omstilling:

– forslag til en lang række artikler fra Aktuel Naturvidenskab og andre materialer, der kan anvendes i et forløb om grøn omstilling. De udarbejdede arbejdsspørgsmål og det tilhørende materiale har primært en fysikfaglig vinkel, men flere af artiklerne vil også kunne finde anvendelse i fagene naturgeografi og kemi. Dele af materialet vil også kunne bruges i naturvidenskabeligt grundforløb (NV), mens andre dele vil kræve fysik på et lidt højere niveau.

Nye arbejdsark til specifikke artikler:

- *Omvendt fotosyntese* fra AN 2/2016. Om biobrændstoffer. Fag: Bioteknologi A og biologi A.
- *Louis Pasteur og den spontane genese*, AN nr. 3/2015. Om naturvidenskabelig metode. Fag: Naturvidenskabeligt grundforløb, biologi C, B, A eller bioteknologi A.
- *Bakteriernes usynlighedskappe skal trævles op*, AN nr. 1/2017 Om mikrobiel genetik. Artiklen kan f.eks. anvendes i et forløb om infektioner og immunforsvar eller i et forløb om genregulering. Fag: Bioteknologi A og Biologi A
- *Velsmag – sådan virker det!*, AN nr. 4/2012. Kan bruges i et temaforløb om molekylær gastronomi sammen med artiklen *Spise blæksprutter – er du mør?* Fra AN nr., 3/2018 og *Se ind i maden* fra AN 6/2015, som der også er arbejdsark til. Fag: Bioteknologi A, Kemi (B)/A.
- *Videnskabelig usikkerhed i kemi: Hvad er farligt?*, AN nr. 6/2018. Om videnskabelig usikkerhed. Fag: Kemi, biologi eller bioteknologi i kombination med religion eller samfundsfag.
- Arbejdsark og krydsord til artiklen *Varmere klima giver mere iltsvind* fra AN nr. 3/2007. Fag: Biologi C/B.

Prøv også quizzerne!

Find dem via aktuelnaturvidenskab.dk

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



ABONNEMENTS-SERVICE

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

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Til nye abonnenter:

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

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- **Birgitte Lyhne**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Jens D. Holbech**, chefkonsulent, Science and Technology, Aarhus Universitet
- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg Universitet
- **Søren Rud Keiding**, prodekan, Science & Technology, Aarhus Universitet

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Majken Brahe Ellegaard Christensen**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Signe Hansen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 6.000



Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

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

Omslagsfoto:

Almindelig oldenborre, et stort insekt.
Foto: Shutterstock.

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

På jagt efter forsvundne iskapper

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Sommerferien står for døren, og hvad er bedre at tage med som ferielektüre end et uopklaret mysterium? For et par bagsider siden var det et mysterium om en overkørt ræv, der fangede min interesse – nu zoomer vi ud til en noget større skala i tid og rum, for denne gang handler mysteriet om forsvundne iskapper. Og forskeren, som gerne vil til bunds i mysteriet, er Mads Faurischou Knudsen fra Institut for Geoscience på Aarhus Universitet. Han fortæller:

»Mysteriet er, at der mangler en masse is i isbudgettet for perioden omkring den seneste istids maksimum for cirka 20.000 år siden. Fra geologiske data ved vi, at det globale havniveau dengang var omkring 130 meter lavere end i dag, fordi store mængder vand var bundet i de iskapper, som dengang dækkede store dele af Nordeuropa og Nordamerika. Men hvis vi regner på det samlede isbudget, mangler der i runde tal en iskappe dobbelt så stor som Indlandsisen i Grønland i dag – svarende til 15 meter havniveau – for at få budgettet til at gå op. Hvor var den is?«

Den hovedmistænkte er Sibirien

Det oplagte sted at lede efter den forsvundne is er Nordøstsibirien. For her finder man de koldeste egne på den nordlige halvkugle, og der er plads til en hulens masse is. Med det in mente kan man undre sig over, at forskerne ikke for længst har fået godt styr på klimahistorien i Sibirien, ligesom man har godt styr på isbevægelserne i Skandinavien. Men det har man ikke. Tværtimod ved man næsten ingenting – og de videnskabelige undersøgelser, der er lavet, har givet modstridende resultater. Således peger nogle undersøgelser på, at der under seneste istids maksimum har været en vidstrakt iskappe i



Der tages prøver i Grønland – nu går turen til Nordøstsibirien. Foto: David Egholm

det nordøstlige Sibirien, mens andre undersøgelser peger på, at isen har været begrænset til lokale gletschere i bjergrige egne. Der er med andre ord brug for, at en gæv, dansk geofysiker får tingene sat på plads, og den rolle påtager Mads Faurischou Knudsen sig gerne.

»Vores projekt går ud på at teste den hypotese, at der har været et udbredt isdække i Sibirien under seneste istid og – hvis hypotesen kan bekræftes – at indkredse, hvor stor udbredelsen har været hvornår.«

Hjælp fra rummet

Han fortæller, at en væsentlig grund til, at man ved så lidt om isens historie i Sibirien er, at man ikke har ordentlige dateringer af de mange istidsaflejringer, man kan finde i regionen.

»Vi vil bruge nye dateringsmetoder, der blandt andet bygger på isotopen beryllium-10 – en isotop, der dannes, når energirige partikler fra rummet rammer atomer i bjergarterne. Da dannelsen af beryllium-10 foregår med konstant rate, ligesom den henfalder til andre isotoper med konstant rate, kan indholdet af beryllium-10 i klipper afsløre, hvor

længe de har været eksponeret for stråling fra rummet,« siger Mads. Derfor vil han og kolleger nu måle indholdet af beryllium-10 og andre såkaldt kosmogene isotoper i prøver fra de vigtigste istidsaflejringer og grundfjeld i regionen for at kunne bestemme deres præcise alder. Ved hjælp af modeller, forskerne selv har udviklet, vil de kunne sammensætte resultaterne til en samlet klimahistorie for det nordøstlige Sibirien.

Når projektet er afsluttet, vil der i bedste fald ikke længere være en stor manko i istidens isbudget. Men selvfølgelig er der også den mulighed, at de må forkaste hypotesen om en iskappe i Sibirien.

»Det vil dog også være et interessant resultat,« siger Mads. »Vi vil selvfølgelig få en udfordring med at finde ud af, hvor isen så har været – eller om vi skal lede efter helt andre forklaringer. Men vi vil vide meget mere om klimahistorien i Sibirien, som er vigtig for bedre at forstå de processer, der har medført store globale ændringer i klimaet under istiden og mellemistiden gennem de seneste hundrede tusinde år.«