

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FØRSKNINGSVERDENEN

AKTUEL
natur VIDENSKAB

CANNABIS

– PLANTERNES GRIMME ÆLLING

Kan CO₂ blive industriens afløser for fossile brændstoffer?
Uanseelig orm lærer os om aldring og sygdomme
Når kosten kun består af dyr



Kemikeren Ørsted

I år fejrer vi 200-året for H.C. Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen, som har sikret ham en velfortjent plads i fysikhistorien. Men Ørsted var lige så meget kemiker som fysiker, og hans måske vigtigste bidrag til kemien set i længere perspektiv, var hans opdagelse af aluminium i 1825 – en opdagelse, som han ikke selv anså som betydningsfuld.

Kilde: Professor emeritus Helge Kragh ved KU i *Kvant* nr. 4/2019. Se også hco2020.dk

QUIZ:

Når man taler om et atoms "elektronegativitet", hvilken egenskab dækker dette begreb så over?

- Atomets evne til at tiltrække elektroner
- Om atomet er et metal eller ej
- I hvilken grad atomet er magnetisk

Se det rigtige svar i *Aktuel Naturvidenskab* quiz om *Periodesystemet* – du finder den på aktuelnaturvidenskab.dk



Succes for Kvant Karina

Figuren Kvant Karina er udsprunget af projektet *Kvantebanditter* fra Syddansk Universitet, som arbejder på at formidle fysik til børn og unge og få dem til at interesse sig for videnskab. De små film med Kvant Karina er oversat til 10 sprog, og App'en om Kvant Karina blev både i 2019 og 2018 hædret med priser uddelt af The International Academy of Digital Arts and Sciences (IADAS), som er et internationalt netværk af IT-branchefolk og webudviklere. Se også Kvantebanditter.dk

Kilde: SDU.dk

Snit gør stærk

Plexiglas er normalt sprødt og glasagtigt og sårbart overfor brud. Men ved at fjerne materiale med en række nøje planlagte snit med en laser ændres materialets egenskaber, så det både bliver stærkere, lettere og mere fleksibelt. Det viser ny forskning lavet i samarbejde mellem forskere fra Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet og Turner Research Group fra University of Pennsylvania, USA. Den nye viden kan bl.a. benyttes til at gøre mikrochips langt mere holdbare.

Kilde: ingenioer.au.dk

CITAT:

»Vi skal have en anerkendelse af, at det er lige godt, om man skaber resultater i de bedste tidsskrifter, eller om man udgiver en formidlingsbog, hvor almindelige mennesker kan følge med i ens forskning.«
Museumssinspektør på Nationalmuseet Jeanette Varberg i *Science report*.



Nyt naturvidenskabeligt radioprogram

Den 20. februar var der premiere på *Vildt naturligt* – et nyt naturvidenskabeligt radioprogram på P1. Programmet har biologerne og videnskabsformidlerne Vicky Knudsen og Johan Olsen i spidsen og bliver sendt hver torsdag.

Kilde: dr.dk



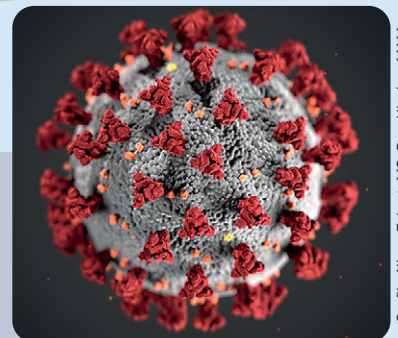
Fysikere i dæksamarbejde

Det tyske dækfirma Continental skal de kommende tre år samarbejde med fysik-forskere fra RUC. Continental er interesseret i at optimere deres test af dækmaterialers egenskaber, mens forskerne fra RUC kan få afprøvet og videreudviklet deres målemetoder.

Kilde: RUC.dk

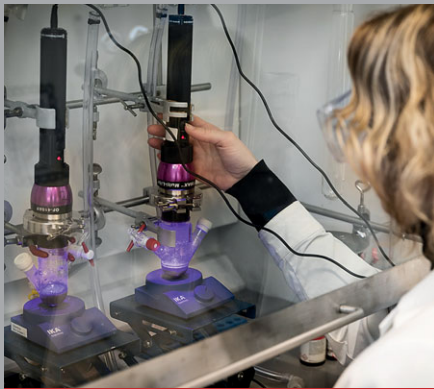
Podcast om globale pandemier

Har den aktuelle epidemi med corona-virus fået dig til at spekulere over truslen fra globale pandemier? Så kan du høre mere om emnet i en ny podcast om den Spanske Syge med professor Lone Simonsen fra RUC i serien *Science Stories*. Sciencestories.dk



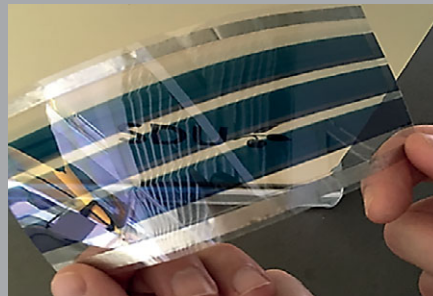
Grafik: Alissa Eckert, MS; Dan Higgins, MAM

indhold



En konstruktiv tilgang til at begrænse klimaforandringer er at fjerne det menneskeskabte CO₂ og udnytte det som ressource i stedet for. Dette er idéen bag bæredygtig katalyse, som gør det muligt at omdanne CO₂ til en række industrielt relevante produkter.

12



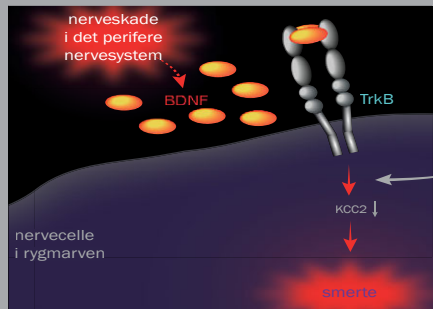
Organiske solceller er nu i laboratoriet tæt på at være lige så effektive som traditionelle solceller. Forskerne arbejder på at rydde de sidste hindringer af vejen for, at organiske solceller kan blive hvermandseje.

26



Hvad er cannabis egentlig for en plante? og hvad er det for nogle indholdsstoffer, der gør, at planten er blevet tillagt så mange positive egenskaber? Hvordan dannes de, og hvordan virker de i kroppen?

20



Smerte er et komplekst fænomen, som vi ikke forstår til fulde. Ved at zoom ind på det lille molekyle sortilins rolle i smertesystemet, når det er ude af balance, håber forskerne at kunne give inspiration til nye behandlinger.

38

FORSKNING OG NYHEDER

- 2 Noter
- 4 Kort nyt
- 8 Fra snegleslim til kosmetik og medicin
- 12 Kan CO₂ blive industriens afløser for fossile brændstoffer?
- 16 Uanseelig orm lærer os om aldring og sygdomme
- 20 Cannabis – planternes grimme ælling
- 26 Polymererne der ikke vil knækkes – den organiske solcellerevolution er på vej
- 32 Når kosten kun består af dyr
- 36 Ny viden om antistof
- 38 Når smerte bliver en sygdom

PERSPEKTIV

- 42 SERVICE
- 44 BAGSIDEN:
Foldning for viderekommende

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 UNIVERSITET



AARHUS
UNIVERSITET



KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



DET TEKNISKE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENTER



Højre- og venstrehåndet luftforurening

Selvom det gavner vores sundhed at få nedbragt mængden af NO_x-gasser i byerne, der især kommer fra dieselmotorer, betyder det ikke, at vi dermed har fået bugt med luftforureningen.

For der findes også andre slags sundhedsskadelige ting i luften, for eksempel de ultrafine partikler. Og når der bliver mindre NO_x, vil der muligvis blive flere partikler, end forskerne hidtil har troet, viser forskning fra Københavns Universitet.

Professor Henrik G. Kjærgaard fra Kemisk Institut og forskerkollega Kristian Holten Møller har nemlig i samarbejde med forskere fra Caltech opdaget en særlig mekanisme i den proces, hvori visse molekyler danner partikler i atmosfæren. Når såkaldte VOC'er (flygtige organiske molekyler) bliver nedbrudt, danner molekylerne radikaler i både højre-



Foto: Colourbox

og venstrehåndet form – det fænomen, som i kemien hedder kiralitet. Forskerne har nu påvist, at den ene form af disse radikaler kan danne partikler op til 1.000 gange hurtigere end den anden form.

»Ingen har før vidst, at højre- og venstrehåndethed gør en kæmpe forskel for, hvor man-

ge partikler, der bliver dannet i luften. Det er jo vigtigt, fordi antallet af partikler i sidste ende er lig med, hvor mange der dør af luftforurening«, siger postdoc Kristian Holten Møller fra Kemisk Institut, som har ledet forskningen.

Mekanismen gør sig gældende, når et VOC-molekyle bliver nedbrudt i atmosfæren ved at reagere med sig selv i stedet for med andre molekyler. Når denne selvreaktion sker, vokser molekylets radikaler sig større og større, fordi de bliver ved med at optage ilt, og til sidst dannes en ultrafin partikel. Det er denne proces, der sker med vidt forskellige hastigheder, alt efter om radikalerne har en højre- eller venstrehåndet form, og dermed bliver der dannet et vidt forskelligt antal partikler.

Maria Hornbek, KU. Kilde: J. Phys. Chem. Lett. 2019, 10, 20, 6260-6266

Masser af engangsplast i naturen

I efteråret 2019 deltog cirka 57.000 danske skole- og gymnasieelever i Masseeksperiment 2019, som gik ud på at lave den første videnskabelige nationale kortlægning af plastforurening noget sted i verden. Resultaterne af de mange skoleelevers anstrengelser blev offentliggjort i januar måned i år.

I undersøgelsen skulle eleverne i september 2019 indsamle plastaffald systematisk efter en videnskabelig protokol på udvalgte, afgrænsede områder fordelt på syv forskellige naturtyper. Hver indsamling blev udført på en 100 meter strækning med varierende bredde.

Samlet blev der indsamlet affald i 3.548 områder fordelt på 92 ud af landets 98 kommuner. I alt fandt eleverne 374.082 stykker plastaffald – kun i 2 % af områderne fandt eleverne slet ingen plastaffald. Rekorden for en enkelt strækning var 3.322 stykker plastik. Gennemsnittet per kilometer indsamling var 1054 stykker plastik.

Den altdominerende type plastaffald var cigaretskod (cigaretfiltere består faktisk af



Foto: Colourbox.

plast). De udgjorde med 112.000 stykker næsten hver tredje af alle stykker plastaffald. På andenpladsen kom små uidentificerede stykker plast, mens chipsposer og slikpapir indtog tredjepladsen.

Ifølge Kristian Syberg, der er lektor i miljørisiko ved Institut for Naturvidenskab og Miljø på Roskilde Universitet og videnskabelig tovholder på projektet, er det tankevækkende, at det plastaffald, eleverne finder, hverken er industriaffald eller husholdningsaffald

men næsten udelukkende plastaffald, som folk bare smider fra sig, mens de sidder, går, cykler eller kører.

Grøfttekanten er den mest populære affalds-plads for engangsplast, efterfulgt af markvej, vandløb og sø, strand, park, klitter, mens skov kommer ind på en sidsteplads blandt de syv naturtyper.

Masseeksperiment 2019 var arrangeret af det nationale naturfagscenter, Astra og udviklet i samarbejde med MarinePlastic, det danske center for forskning i marin plastforurening.

Kristian Syberg arbejder nu på at publicere det unikke datasæt om plastforureningen i Danmark i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Til maj skal han sammen med sine forskningskolleger fra MarinePlastic også præsentere resultaterne på den internationale konference SETAC i Dublin.

Planen er også at gentage indsamlingen om et par år for at se, om igangværende initiativer har haft effekt på danskernes adfærd.

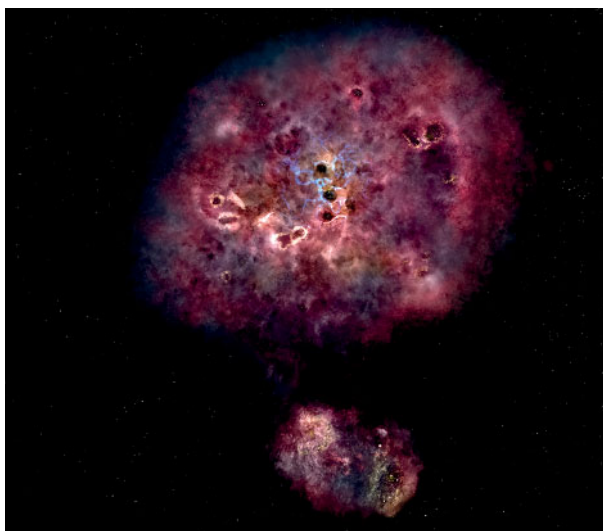
CRK, Kilder: ruc.dk og naturvidenskabsfestival.dk

Kæmpegalakse fra universets barndom

En internationalt hold forskere har opdaget en kæmpegalakse, Mambo-9, der består af store mængder stjerner, gas og stjernestøv og er 13 milliarder lysår væk. Det gør den til den fjerneste støvede galakse, man hidtil har set. Resultaterne er netop offentliggjort i tidsskriftet *Astrophysical Journal*.

Støvede stjernedannende galakser er de mest intense stjerneproducenter i universet. De danner stjerner med en hastighed op til et par tusind gange solens masse om året, hvor den stjernedannende hastighed i vores Mælkevej kun er cirka tre solmasser om året.

Når forskerne tager billeder af fjerne galakser, viser billederne, hvordan galakserne så ud for mange milliarder år siden, fordi det er så længe, det har taget lyset at rejse til teleskoplinsen. Billederne af Mambo-9 gengiver derfor galaksen, som den så ud 13 milliarder år tilbage i tiden, og det gør, at bil-



Opdagelsen af afstanden til Mambo-9 er det første resultat fra en nyt stor undersøgelse med ALMA-teleskopet i Chile, der består af 66 teleskoper. Foto: ESO

lederne viser en situation meget tæt på Big Bang, der foregik for 13,8 milliarder år siden.

»Det, at vi har været i stand til at se sådan en galakse, så tæt på Big Bang er en fantastisk

bedrift. Vi er overraskede over, at en 13 milliarder år gammel galakse er så stor og massiv så tæt på Big Bang, for hvordan kan en galakse blive så stor på så kort tid?«, siger Georgios Magdis, der er lektor i Astrofysik på DAWN Centret ved Niels Bohr Institutet og på DTU-Space.

Forskerne har regnet ud, at galaksen i dag er endnu større og formentligt indeholder hundrede gange flere stjerner end Mælkevejen.

»Der er højst sandsynlig sket en hel del med galaksen på de 13 milliarder år, der er gået siden. Det, vi kan se, er en galakse, der er fuld af støv og gas, og som er klar til at producere milliarder af stjerner. Senere i

dens liv vil den højst sandsynlig blive en af de mest stjerneproducerende galakser i universet,« siger Georgios Magdis.

Nanna Birk Jensen, KU. Kilde: Caitlin M. Casey et al 2019 ApJ 887 55

Virtual reality skal afhjælpe angst

Forskere på Syddansk Universitet vil nu give de omkring 350.000 angstplagede danskere nye muligheder for at blive angsten kvit. Med et par VR-briller på næsen skal patienterne i trygge rammer øve sig i de angstfyldte situationer.

»Det fantastiske ved virtual reality er, at vi kan styre situationen og skrue op og ned for sværhedsgraden. Det er som et VR-computerspil målrettet angstpatienter«, siger Gunver Majgaard fra SDU Game Development and Learning Technology.

Hun er ekspert i mixed reality design og skal skabe de VR-scener, som patienterne kan gå på opdagelse i.

»Hvis en tur med bussen udløser angst, kan vi begynde med et virtuelt scenarie, hvor



Foto: Shutterstock.

bussen er tom. Efterhånden som patientens puls falder, kan vi lukke flere passagerer ind i bussen.«

Patienterne får udover VR-briller også en pulsmåler, så terapeuten kan monitorere, hvor angst den enkelte patient er. For at

udfordre den enkelte patient optimalt kan terapeuten via pulsmåleren vurdere, om der skal flere passagerer på bussen eller sættes nogle af.

»Det er videnskabeligt dokumenteret, at det hjælper patienterne at gennemgå de situationer, som fremprovokerer angst. Så kroppen husker, at det ikke er farligt. Men det er meget dyrt at have sin terapeut med ud i angstskabende situationer, så ved at skabe nogle klassiske scenarier patienterne kan gennemgå, kan vi hjælpe mange patienter,« understreger Gunver Majgaard.

Forskerne skal nu sammen med en gruppe af patienter med angst udvælge omkring 10 typiske scenarier, som angstpatienter frygter. Ud over at tage bussen, kan det være at handle ind.

Af Birgitte Dalgaard, SDU

Rengøring i dybden

Boreplatforme, vindmølleparker og bølgeanlæg skal regelmæssigt rengøres for ikke at gro helt til i marine organismer som tang og muslinger. Sådanne begroinger øger nemlig risikoen for, at strukturerne går i stykker over tid, fordi de øger bølgenes belastning på strukturerne. Rengøringen koster typisk de firmaer, som arbejder med offshore energi, trecifrede millionbeløb om året. En stor del af omkostningen går til mandskabet, der styrer de undervandsrobotter, som spuler begroingen af.

Men måske findes der en bedre løsning? Fire studerende fra AAU i Esbjerg er som en del af deres speciale i gang med at udvikle undervandsrobotter, som automatisk holder blandt andet boreplatforme og vindmølleparker fri for havets dyr og planter.

»Den optimale løsning vil være at udvikle en undervandsrobot, som man bare smider i vandet, og den så helt af sig selv holder de forskellige strukturer fri for bevoksning, uden at det kræver en operatør til at styre den. Det er det, vi er i færd med at udvikle,« forklarer



Den første udgave af undervandsrobotten med højtryksrenser, propeller, lys og elektronik i midten. Privatfoto Foto: Cecilia Cerretani

en af de fire studerende, Sigurd S. Klemmensen fra Institut for Energiteknik ved Aalborg Universitet i Esbjerg.

Gruppen af studerende er allerede godt i gang med at udvikle en løsning på proble-

met. De har udstyret en undervandsrobot fra universitetet med både en højtryksrenser og flere propeller til at holde robotten fast positioneret i vandet, så den ikke bliver skubbet væk, når højtryksrenseren først går i gang med at fjerne tang og muslinger fra fundamenter, rør og andre strukturer. Robotten bliver i den kommende tid også udstyret med et GPS-system og en sonar til at fodre robotten med data, der gør det lettere at fuldautomatisere kontrollen med den.

»Vi har allerede nu vores undervandsrobot, som vi skal afprøve i virkelige situationer for at identificere, hvor den i arbejdet med en højtryksrenser støder på problemer. Og så skal vi finde ud af, hvordan vi løser dem,« fortæller Sigurd S. Klemmensen.

Projektet er støttet af Siemensfonden og bliver realiseret i et samarbejde med klyngeorganisationen for energiproduktion, Energy Innovation Cluster i Esbjerg samt virksomhederne Sub C Partner A/S, TOTAL E&P Danmark og Siemens Gamesa Renewable Energy A/S.

Sanne Holm Nielsen, AAU

Spøgelses-gen holder diabetes i skak

Generne i vores arvemasse bliver via mellemedet RNA oversat til de proteiner, som vores kroppe er opbygget af. Udover de proteinkodende gener findes der en stor mængde "spøgelsesgener", som godt nok omsættes til RNA, men RNA'et konverteres ikke til protein. Dette RNA kaldes for long noncoding RNA's (lncRNA), og de bagvedliggende spøgelsesgener kaldes derfor på fagsproget for lnc-RNA-gener. Tidligere troede man, at lnc-RNA-generne simpelthen var overflødige gener i vores arvemasse.

Men nyere forskning tyder på, at det alligevel ikke er tilfældet. Og nu viser et nyt studium af forskere fra SDU, at et af disse gener kaldet lincIRS2 har indflydelse på vores stofskifte og dermed sygdomme som diabetes.

»Efter min vurdering kender man på verdensplan funktionen af færre end 100 af de



Gen. Foto: Colourbox.

næsten 60.000 lncRNAs, som forekommer i mennesker, og derfor er det helt specielt, at vi nu har identificeret funktionen af endnu et af dem, siger Jan-Wilhelm Kornfeld, professor i molekylærbiologi af stofskiftesygdomme på SDU.

Til sammenligning er funktionen af de mere end 20.000 gener, som er med til at danne alle de forskellige proteiner, som mennesket

består af, mere eller mindre kortlagt i detaljer.

Ved hjælp af teknologien CRISPR/Cas9 lykkedes det Kornfelds forskergruppe at "klippe" lincIRS2 ud af arvemassen i mus. I disse genetisk modificerede mus, hvor lincIRS2 var fjernet, observerede forskerne, at musene udviklede bestemte forstadier til sukkersyge (type 2 diabetes). Omvendt førte aktivering af lincIRS2 genet til, at overvægtige forsøgsmus blev sundere og fik mere stabilt blodsukterniveau.

»Det er svært at forudse nøjagtigt, hvordan denne nye viden kan anvendes, men det skal undersøges, om det kan bruges aktivt til behandling af diabetespatienter eller andre patienter med stofskiftesygdomme,« siger Jan-Wilhelm Kornfeld.

Mikkel Linnemann Johansson, SDU. Studiet er offentliggjort i Nature Communications.



IT-CAMP FOR KVINDELIGE GYMNASIEELEVER

5.- 6. april 2020

WWW.ITCAMP.AAU.DK

IT-camp er to gratis dage med undervisning og inspiration for kvindelige gymnasieelever i hele Danmark. Du behøver ikke at kunne programmere for at deltage. Du skal bare være interesseret i ny teknologi og i, hvordan den digitale udvikling kan gøre en forskel i vores hverdag.

På IT-camp får du praktisk og teoretisk viden, og du kommer til at prøve kræfter med de muligheder, IT åbner.

Alt sammen i selskab med nogle af vores studerende, forskere og repræsentanter for et par af de IT-virksomheder, der mangler specialister.

Det er gratis at deltage, og vi sørger for mad, overnatning på hotel, sociale og faglige aktiviteter. Du må gerne tage en veninde med.

Se hvordan du kan sikre dig en plads på www.itcamp.aau.dk og tilmeld dig **senest d. 23. marts 2020**.

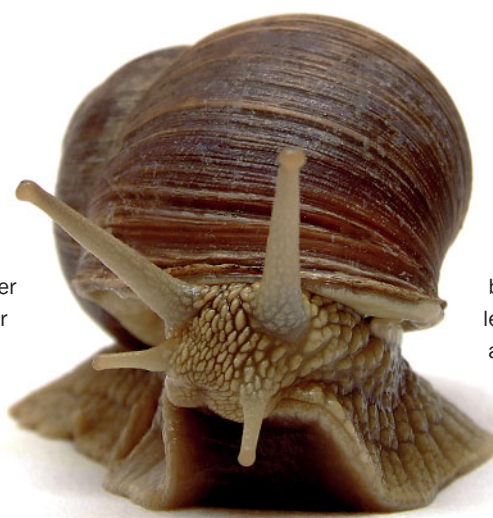


AALBORG UNIVERSITET

FRA SNEGLES LIM TIL KOSMETIK OG MEDICIN

Videnskabsfolk undersøger nu, hvorfor og hvordan snegleslim har helbredende effekter på fx huden.

Det kommer måske som en overraskelse for de fleste, at anvendelsen af snegleslim i kosmetiske produkter ikke er ny; faktisk har mennesker over de seneste to årtusinder udnyttet fordelene af disse snegleudskillelser. De gamle grækere og romere smurte slimen på huden for at helbrede en lang række hudlidelser; for eksempel på inflammationer, brandsår, bylder, eller bare på helt almindelige skader. Faktisk har både Hippokrates og Plinius den Ældre foreslået snegleslim som helbredende middel, og i mange århundreder siden har befolkningsgrupper på landet i Syditalien brugt slimen for at lindre vorter, sår, akne samt hård og tør hud.



Vinbjergsneglen (*Helix pomatia*).
Foto:Shutterstock

I mere moderne tid blev slimens helende funktioner genopdaget i 1960'erne, da den spanske onkolog Rafael Abad Iglesias udsatte en snegleart for den samme ioniserende stråling, som anvendes i kræftbehandling for på den måde at undersøge de strålingsinducerede kromosomale forandringer. Iglesias observerede, at sneglene var i stand til meget hurtigt at hele de sår, der opstod som en bivirkning af strålingen – og faktisk på grund af dette blev snegleslim efter sigende brugt til at behandle patienter, der led af stråleskader på huden (radiodermatitis) efter ulykken på atomkraftværket Tjernobyl i 1986. Mere fredeligt er der også rapporter fra chilenske arbejdere på sneglefarme, der

opdrætter og eksporterer snegle til franske køkkener til brug i delikatesseretter, at deres hud er blevet synligt blødere, og at små skader heles hurtigere uden at efterlade ar, når de har været i direkte kontakt med de små slimede bløddyr.

Beretningerne om snegleslimens helende egenskaber har inspireret både kosmetologer og videnskabsfolk til at undersøge helt præcist, hvorfor og hvordan snegleslim udøver sine helbredende effekter på huden, så slimen kan blive benyttet i kosmetiske og medicinske produkter.

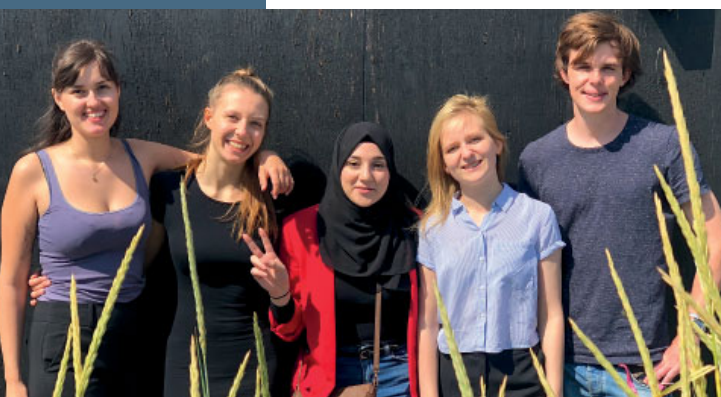
Snegleslimens ingredienser

Der er i den videnskabelige litteratur fremsat adskillige bud på, hvilke kemiske forbindelser slimen er sammensat af, og hvordan det kan forklare slimens kurerende egenskaber. Disse forbindelser inkluderer for eksempel hyaluronsyre, kollagen, elastin, allantoin og glykolsyre, som alle er stoffer, du kan finde i ingredienslisten på bagsiden af et hav af kosmetiske produkter, da de hjælper med at fugte, pleje og hele huden. Litteraturen indeholder imidlertid langt fra en udtømmende beskrivelse af snegleslims kemiske sammensætning.

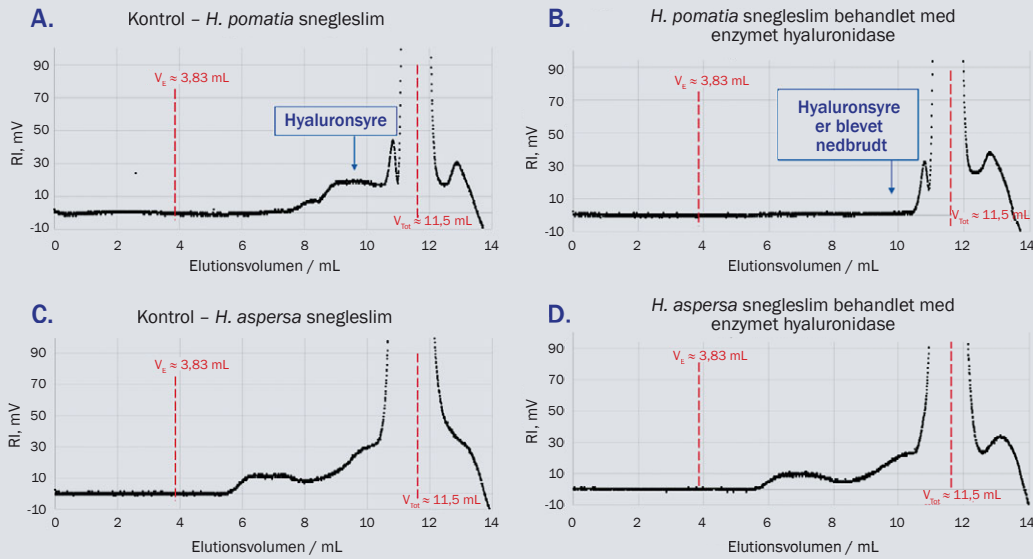
Forfatterne

Kristine Ferning, Maria Abboud, Nina Štrancar, Patricia Manikova, Torben Callesen. Kontakt: mabboud@ruc.dk

Alle er studerende på RUC's naturvidenskabelige bacheloruddannelse.



Sådan påviste vi hyaluronsyre i snegleslim



Y-aksen er brydningsindeks, og x-aksen er det antal ml, der er kommet gennem søjlen (elutionsvolumen), og chromatogrammerne viser på denne måde separationen af de forskellige komponenter (i form af toppe) efter deres størrelse.

Først tog vi en portion snegleslim fra hver af de to sneglearter *H. pomatia* og *H. aspersa* og delte den i to. Vi analyserede derefter prøverne ved hjælp af størrelseskromatografi, hvor en lille del af prøverne af snegleslim blev sprøjtet på toppen af en søjle, der separerer stoffer efter deres størrelse. De store molekyler kommer først ud af søjlen, og de lette til sidst. Figuren viser i A og C størrelseskromatogrammerne for ubehandlet slim fra de to sneglearter. B og D viser samme analyse af

slim fra de to sneglearter, men hvor slimet har været udsat for enzymet hyaluronidase, som nedbryder hyaluronsyre. Det fremgår tydeligt, at en af toppene på kromatogrammet for slim fra *H. pomatias* forsvandt efter behandling med enzymet (sammenlign A og B), hvorimod kromatogrammerne for *H. aspersa* er ens (C og D). Dette er en tydelig indikation på, at slimet fra *H. pomatia* indeholder hyaluronsyre, som enzymet kunne nedbryde.

Vejledere på projektet:

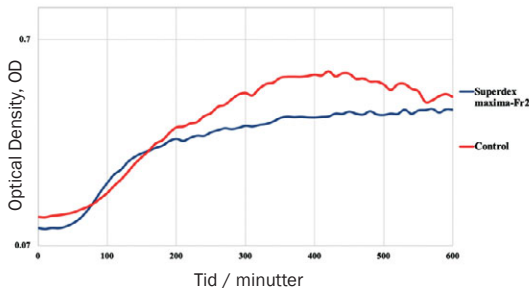


Poul Erik Hansen, professor emeritus i kemi på RUC
 poulerik@ruc.dk



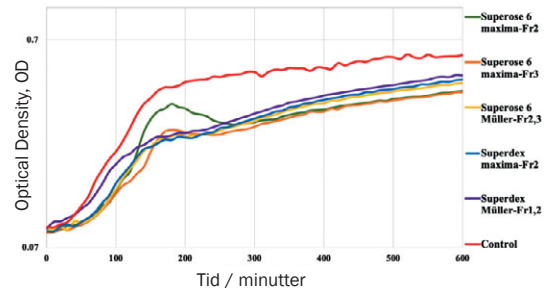
Torben Lund, lektor i kemi, RUC
 tlund@ruc.dk

A. Vækstkurve af *S. aureus* behandlet med fraktion 2 fra *H. aspersa*



Graferne viser, hvorledes forskellige fraktioner af snegleslimen hæmmer celledelingen af både *S. aureus*- og *E. coli*-bakterier sammenlignet med kontrollen (de røde grafer), som ikke blev behandlet med snegleslimsfraktioner. Det indikerer, at disse fraktioner indeholder molekyler med antibakterielle egenskaber.

B. Vækstkurve af *E. coli* behandlet med forskellige fraktioner fra *H. aspersa*



De forskellige fraktioner fik vi ved at separere snegleslimen på to forskellige kromatografisøjler (Superdex og Superose 6), som har forskellige separationsområder. På x-aksen er afbildet celleinkubationstiden og på y-aksen Optical Density (OD), som giver et mål for bakterieantal.

processer. Hyaluronsyre er i sig selv særligt spændende, da den binder til vand og på den måde holder huden fugtig. Det er også derfor, man kan finde hyaluronsyre i en masse hudplejeprodukter.

Hæmmer bakterievækst

Vores undersøgelse afslører også, at fraktioner af snegleslimen faktisk har en hæmmende effekt på væksten af to ud af de tre bakteriestammer, vi testede, nemlig

en stamme af *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) og en stamme af *Escherichia coli* (*E. coli*). Det er begge bakteriearter, som er de almindelige syndere bag adskillige infektioner. Når vi dyrkede dem i medium sammen med fraktioner af slim fra *H. aspersa*, blev celledelingen hæmmet. Ved hjælp af massespektrometri kunne vi fastslå, at disse fraktioner indeholdt store peptider med antimikrobielle egenskaber.

Vores indledende snegleslimsstudie kan danne et godt afsæt for nye studier, hvor slimets kemiske sammensætning kan blive yderligere klarlagt.

Vores observationer i dette projekt bekræfter altså tidligere litteraturrapporter om, at snegleslim kan indeholde hyaluronsyre samt antimikrobielle stoffer. Så det er altså ikke nogen dårlig idé at smøre noget snegleslim i ansigtet!



IT Camp

for piger

28.-29. marts 2020

Har du kvindelige elever som er vilde med matematik? - så fortæl dem om IT Camp for piger på SDU i Odense

På IT Camp for piger får deltagerne fingrene i brugerdrevet app-design og programmering i Python. De får indblik i algoritmer, analyse af Big Data, Deep Learning og kunstig intelligens. Deltagerne møder færdiguddannede, som er i gang med deres karriere og hører om, hvordan man tænker innovativt med IT-teknologier.

IT Camp for piger er for elever, der er på 2. eller 3. årgang på HHX, STX, HTX, HF, EUX eller har sabbatår. Man behøver ikke kunne programmere for at deltage. Man skal blot medbringe egen computer og masser af nysgerrighed.

SDU byder på overnatning, mad og drikke, og det hele er gratis.

Campen finder sted den 28. - 29. marts 2020 på SDU i Odense.

Tilmelding: www.sdu.dk/itcampforpiger

KAN CO₂ BLIVE INDUSTRIENS AFLØSER FOR FOSSILE BRÆNDSTOFFER?

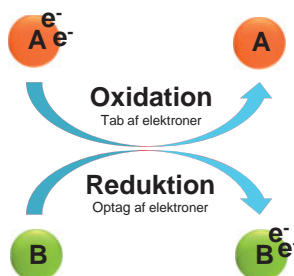
En konstruktiv tilgang til at begrænse klimaforandringer er at fjerne det menneskeskabte CO₂ og udnytte det som ressource i stedet for.

Dette er idéen bag bæredygtig katalyse, som gør det muligt at omdanne CO₂ til en række industrielt relevante produkter.

Siden den industrielle revolution har mennesker forbrændt stigende mængder af fossile brændstoffer som kul, gas og olie, for at dække et voksende energibehov. Dette har medført en fantastisk teknologisk udvikling, men er kommet med en pris. Slutproduktet af forbrændingsreaktionen af fossile brændstoffer er nemlig CO₂, som sammen med andre drivhusgasser i atmosfæren får klodens temperatur til at stige. Det giver anledning til en række klimaforandringer, som vi i disse år begynder at mærke effekterne af. Derudover har vi begrænsede reserver af fossile brændstoffer, hvilket ikke kun har betydning for vores fremtidige energiforbrug. De færreste tænker over, at en perlerække af produkter fra plastikflasker og bildæk til alskens industrielle kemikalier er produceret ud fra råolie. Alene dette faktum betyder, at vi bliver nødt til at tænke i alternative strategier – ligegyldigt om man anerkender klimakrisen eller ej.

Først og fremmest er der kommet fokus på overgangen til bæredygtige

og vedvarende energiteknologier som sol og vind. Samtidig har der de seneste år været en stigende interesse for, hvordan man kan omdanne CO₂ til værdifulde produkter. Forestil dig det drømmescenarie, at vi i fremtiden ikke ser CO₂ som en uønsket drivhusgas, men i stedet som en attraktiv carbon-kilde, der kan bruges som byggekloks for en lang række industrielt relevante produkter som brændstof, plastik, rengøringsmidler og medicin.



I en oxidation afgives elektroner, mens der i en reduktion optages elektroner. Det totale antal af elektroner skal være bevaret, og derfor kan de to processer ikke ske uafhængigt af hinanden. Vi vil gerne omdanne CO₂ gennem reduktion, mens eksempelvis vand oxideres til oxygen.

Katalytisk omdannelse af CO₂

I virkeligheden er en kemisk omdannelse af CO₂ ikke spor banebrydende, tværtimod. Det er en af de vigtigste reaktioner, som kendes fra naturen, og tilmed eksistensgrundlaget for hele dyreriget. Reaktionen kendes fra fotosyntesen, hvor CO₂ og vand omdannes til oxygen og plantemateriale ved hjælp af sollys. Det er netop denne proces, vi gerne vil efterligne ved at lave kunstig fotosyntese. Vi forsøger ikke at lave en tro kopi af naturens processer, men at udvikle processer, hvor resultatet er det samme: omdannelse af CO₂, som det ses ved følgende reaktioner:

Naturlig fotosyntese:
 $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{lys} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Kunstig fotosyntese:
 $x\text{CO}_2 + \frac{1}{2}y\text{H}_2\text{O} + \text{lys/strøm} \rightarrow \text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + (x + \frac{1}{4}y - \frac{1}{2}z)\text{O}_2$

Eksempel på kunstig fotosyntese:
 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH} + \frac{1}{2}\text{O}_2$

Kunstig fotosyntese har et stort potentiale, idet CO₂ i røggasblandinger fra kraftværker og anlæg potentielt

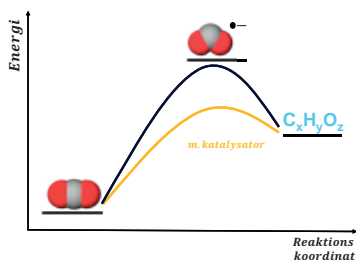
Om forfatterne



Sara Frank er specialestuderende i nanoscience ved Aarhus Universitet.



Nina Lock er uddannet kemiker og er lektor ved Institut for Ingeniørvidenskab ved Aarhus Universitet.
nlock@eng.au.dk



Forsimplet energidiagram over omdannelsen af CO_2 til forskellige relevante produkter på formen $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$, eksempelvis CO eller CH_4 . Jo lavere energi et molekyle har, des mere stabilt er det. Reaktionen forløber oftest gennem dannelsen af den vinklede radikalanion $\text{CO}_2^{\bullet-}$, som har en høj aktiveringsbarriere. Denne aktiveringsbarriere kan sænkes ved at tilføje en katalysator, som faciliterer en alternativ reaktionsvej og dermed øger reaktionshastigheden. Figuren er inspireret af Yun Zheng et al. (2017) og Andrea Álvarez et al. (2017).

kan omdannes helt eller delvist, inden den lukkes ud i atmosfæren.

En central udfordring ved at omdanne CO_2 er, at CO_2 er termodynamisk meget stabilt. Det er den mest oxiderede form for carbon, og der skal tilføres energi til systemet for at reducere CO_2 . Desuden er CO_2 et lineært molekyle, og for at gøre det reaktivt, kræves der typisk, at molekylet fysisk bøjes ved at tilføre en elektron og danne en CO_2^- radikalanion, hvilket er meget energikrævende. Det giver anledning til en høj aktiveringsbarriere, dvs. en energi, der skal tilføres, før vi kan opnå værdifulde produkter. Denne energibarriere er så høj, at det i praksis ikke kan betale sig at tilføre den mængde energi, det vil kræve at reducere CO_2 . Derfor anvendes katalysatorer, som sænker aktiveringsenergien, uden at katalysatoren selv bliver forbrugt i processen.

Naturlige katalysatorer kender vi for eksempel fra enzymer i kroppen, og i industrien udnytter man katalysatorer i alt fra vaskepulver til produk-

tion af kunstgødning og rensning af udstødningsgas fra biler. Hver katalysator er udviklet til specifikt at katalysere én bestemt reaktion.

Der findes allerede i dag et utal af katalysatorer, som kan reducere CO_2 , men fælles for dem er, at aktiveringsbarrieren stadig er høj. Derfor forsøger vi at få bedre forståelse for, hvordan en god katalysator er opbygget og opfører sig under reaktionen for at udnytte det til at lave endnu bedre katalysatorer.

Udvikling af bæredygtige katalysatorer

Når der skal designes nye katalysatorer til CO_2 -reduktion er det vigtigt, at de bygger på materialer, som er både billige og skalerbare. Samtidig skal energitilførslen ske i form af vedvarende energi som sol- eller vindenergi. Brugen af lys eller strøm

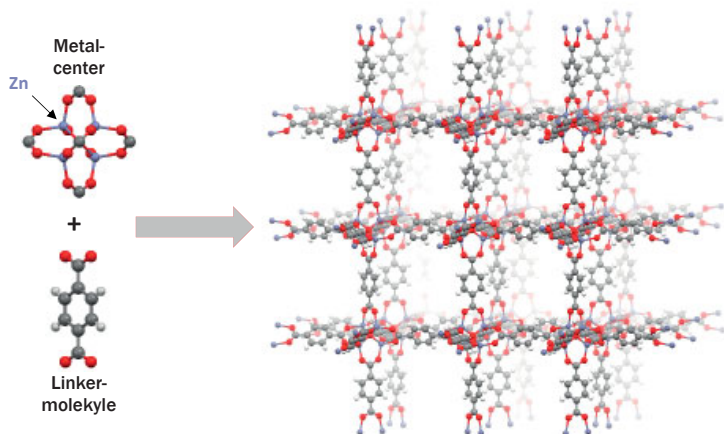
til at drive katalytiske processer kaldes henholdsvis fotokatalyse og elektrokatalyse.

Selvom ædelmetaller som platin og guld generelt anses som gode katalysatorer, vil vi gerne minimere brugen af disse, da deres forekomst i jordskorpen er lav, og dermed er de dyre. Det kan vi gøre ved at undersøge brugen af andre grundstoffer, der er lettilgængelige og samtidig har de krævede fysiske og kemiske egenskaber. Eller vi kan udnytte principper fra nanoscience, hvor vi eksempelvis optimerer brugen af metallerne i form af nanopartikler (dvs. partikler med stor overflade) eller udforsker potentialet af såkaldte hybrid-materialer bestående af både uorganiske metalcentre og organiske molekyler.

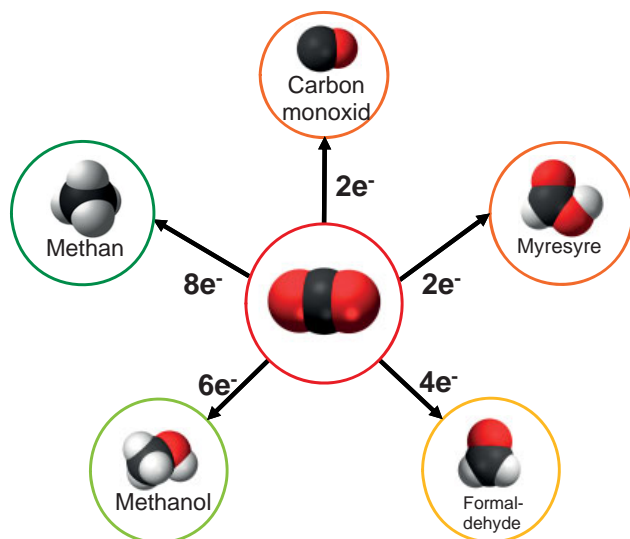
De aktive centre i katalytisk CO_2 -re-



Sara Frank i laboratorie ved Institut for Ingeniørvidenskab på Aarhus Universitet.
Foto: Nina Lock



Krystalstruktur af et metal-organisk netværk (MOF-5) opbygget af metalcentre forbundet af organiske linker-molekyler. Dette metal-organiske netværk indeholder zink (Zn) som det aktive metal. Strukturen er først publiceret af Hailian Li et al (1999).



Eksempler på mulige produkter for CO_2 -reduktion, som alle kun indeholder ét C-atom, repræsenteret sammen med antallet af elektroner involveret i hver reaktion. Jo flere elektroner, der er involveret, jo sværere er det generelt at få dannet produktet. Fælles for disse produkter er, at de er vigtige i industrien, og der bruges ressourcer på at lave dem.

duktion indeholder næsten altid metalatomer. Antallet af aktive metalatomer kan øges ved at lave såkaldte metal-organiske netværk. Et metal-organisk netværk er en porøs tre-dimensionel struktur, som bedst kan sammenlignes med en svamp. Det består af en række metalatomer forbundet af stive organiske molekyler. Materialet har små hulrum og kanaler (på nanometerstørrelse), som fører til et stort indre overfladeareal, der typisk er omkring $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. Små molekyler som CO_2 kan diffundere ind i disse porer. Deponeres et metal-organisk netværk på en elektrisk ledende overflade, kan det anvendes som

katode-materiale i elektrokatalyse, hvor CO_2 kan bevæge sig inde i strukturen og derved blive omdannet direkte ved et af de utallige eksponerede metalatomer. Porøsiteten øger altså aktiviteten per metalatom betragteligt, og derved er der brug for mindre metal i sådanne katalysatorer sammenlignet med en solid metalklod. Udover metal-organiske netværk findes der også andre klasser af hybridmaterialer, herunder materialer bestående af to-dimensionelle lag eller én-dimensionelle kæder. Fælles for hybridmaterialerne er, at man kan skræddersy deres egenskaber igennem valget af metal og organisk

linker-molekyle. Det betyder, at vi kan optimere de fysiske og kemiske egenskaber, såsom elektrisk ledningsevne eller lysabsorption, ved at variere de molekulære byggesten, der indgår i katalysatoren.

CO_2 som byggesten i den kemiske industri

Produkter fra CO_2 -omdanning er byggesten for en række kemikalier, som vi i dag bruger ressourcer på at fremstille, blandt andet fra råolie. Designet af vores katalysator, herunder metallet der indgår, samt reaktionsbetingelserne, er afgørende for, hvad vi omdanner CO_2 til. Generelt er det sværere at designe en katalysator, som kan omdanne CO_2 til et produkt, hvor det kræver, at mange elektroner, hydrogen-, oxygen- og carbonatomer skal mødes.

Derfor omdannes CO_2 ofte til carbonmonoxid (CO) eller myresyre (HCOOH), der begge er eksempler på en to-elektronreduktion. Disse produkter kan vi allerede i dag danne med høj effektivitet. CO kan bruges i blandt andet den såkaldte Fischer-Tropsch-proces, hvor det reagerer med hydrogen og omdannes til flydende brændstof. Desuden kan CO anvendes i medicinalindustrien. Myresyre anvendes til fremstilling af blandt andet farvestoffer, pesticider og medicin.

CO_2 kan også omdannes til formaldehyd (HCHO), som er en vigtig byggesten i en lang række af materialer og kemiske reaktioner. Det er især brugt i træ-komposit materialer til møbler og i byggeindustrien.

Methanol og methan, der er andre mulige produkter fra CO_2 -omdanning, kan anvendes direkte som brændstof i eksisterende teknologier, både i forbrændingsmotorer og til produktion af strøm i brændselceller. Methanol er som væske let at opbevare og transportere, mens methan er den primære bestanddel i naturgas. Når methan eller methanol forbrændes omdannes det til CO_2 , som man vil kunne reducere igen og i princippet udnytte i en uendelig cyklus.

Bæredygtig omdannelse af CO₂ ved brug af lys eller strøm

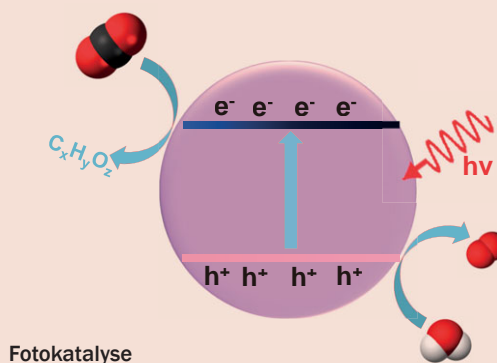
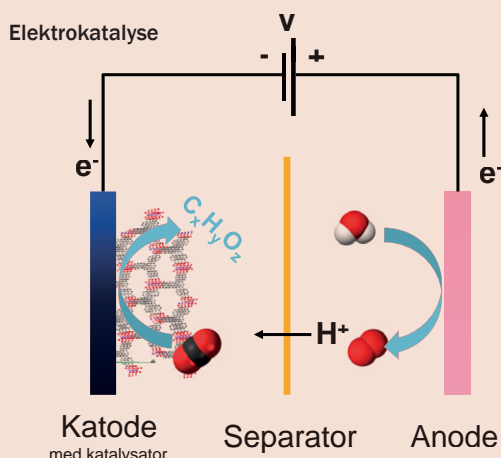
Omdannelse af CO₂ kræver, selv med en katalysator, at der skal tilføres nok energi til at passere en aktiveringsbarriere for reaktionen. Hvis energien for at overvinde denne kommer fra sollys, kaldes processen for fotokatalyse, og hvis energien kommer fra strøm, kaldes den elektrokatalyse. Processerne bygger overordnet set på samme princip, men med en central forskel i, hvorvidt oxidations- og reduktionsreaktioner sker på to adskilte elektroder (elektrokatalyse) eller typisk på overfladen af samme materiale (fotokatalyse). I konventionel produktion anvendes termisk katalyse, hvor energi tilføres i form af varme.

I elektrokatalyse anvendes to elektroder, en positiv anode og en negativ katode, en elektrolyt (opløsning af et salt), og en separator, som tillader, at ioner kan bevæge sig på tværs, men blokerer for transport af elektroner. Spændingsforskellen mellem katoden og anoden genereres ved hjælp af en strømforsyning, så det er altså her, vi betaler den energi, der skal til for at drive reaktionen. Det er selvfølgelig altafgørende, at energien stammer fra vedvarende energikilder, så der ikke brændes kul af på et kraftværk for at drive processen. Hvis elektrolytten er en vandig opløsning, og anoden er tilstrækkeligt positiv, kan vand (H₂O) oxideres til oxygen (O₂) under frigivelse af protoner og elektroner. Både protoner og elektroner transporteres til katoden, hvor vores katalysator er placeret og kan facilitere reduktionen af CO₂ til et værdifuldt produkt på formen C_xH_yO_z, eksempelvis CO eller CH₄.

I fotokatalyse udnyttes energien fra solen. Her er katalysatoren et halvledermateriale, som kan absorbere sollys og derved danne positive og negative ladninger (elektron-hul par). Ved at adskille de positive og negative ladninger, kan de bruges til henholdsvis oxidations- og reduktionsreaktioner på overfladen af katalysatoren. I en vandig opløsning eller suspension kan H₂O oxideres til O₂, mens CO₂ reduceres, ligesom i elektrokatalysen.



Forsøg med fotokatalyse i laboratoriet.
Foto: Ida Jensen, AU foto



Fotokatalyse

Flere forskningsgrupper har på imponerende vis været i stand til direkte at omdanne CO₂ til produkter som indeholder flere carbonatomer. Dette er ekstremt lovende, da disse kan bruges som byggesten for polymerer til blandt andet tøjproduktion og plastik.

Teknologiske gennembrud er nødvendige

Der er uden tvivl et stort potentiale i kunstig fotosyntese og omdannelsen

af CO₂ til værdifulde produkter. Derfor er det også et forskningsfelt, hvor interessen er eksploderet! På trods af det, er der lang vej, før vi kan afløse fossile brændstoffer med ren CO₂. Omdannelsen af CO₂ er generelt for ineffektiv og koster for meget i energi til, at det i dag kan betale sig, medmindre vi kan koble det med overskudsenergi fra for eksempel vindmøller. Men som beskrevet i denne artikel vil nye og bedre katalysatorer kunne hjælpe med at gøre

processen mindre energikrævende, så vi kan omdanne CO₂ til produkter som brændstof, medicin, t-shirts, industrielle kemikalier eller bæredygtige havemøbler. Ja, hvis vi i Danmark skal opfylde en målsætning om at reducere CO₂-udledningen med 70 % inden 2030, kan det være tvingende nødvendigt at opnå denne form for teknologiske gennembrud. Den gode nyhed herfra er, at jagten på den helt rigtige katalysator allerede er i gang! ■

Videre læsning

Yun Zheng et al., Nano Energy, 40, 2017, 512-539, DOI: 10.1016/j.nanoen.2017.08.049

Andrea Álvarez et al., Chem Phys Chem, 18, 22, 2017, 3135-3141, DOI: 10.1002/cphc.201700782.

Hailian Li, et al, Nature, 1999, 402, 276, DOI: 10.1038/46248



UANSEELIG ORM LÆRER OS OM ALDRING OG SYGDOMME

En millimeter stor rundorm bruges i laboratorier verden over, til at afsløre grundlæggende biologiske mekanismer involveret i for eksempel aldring og udviklingen af alvorlige sygdomme, som Parkinsons og ALS.

Om forfatteren



Katrine Vogt Møller er ph.d.-studerende ved Sektion for Molekylær Intervention, Institut for Molekylærbiologi og Genetik, Aarhus Universitet samt Sektion for Bioteknologi, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet.

Katrine har arbejdet med *C. elegans* både under sit speciale, hvor hun studerede en sygdomsmodel for Parkinsons, og i sit ph.d.-projekt, hvor hun har brugt *C. elegans* til at finde gavnlige bakterier, som øger ormens levetid.
kvc@mbg.au.dk og
kvc@bio.aau.dk

Det kan måske være svært at forestille sig, at en mikroskopisk orm, nærmest umulig at se med det blotte øje, kan gøre os klogere på sygdomsudvikling i mennesker. Ikke desto mindre bruger forskere verden over den lille rundorm på knapt 1 mm med det flotte latinske navn *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) til at studere netop dette, og også som et værktøj til at screene efter nye lægemidler.

På trods af den tydelige forskel i udseende har *C. elegans* flere ligheder med mennesket, end man lige skulle tro. Den har blandt andet et nerve-, et tarm-, og et immunsystem, om end strukturerne er simple end hos mennesket. Dette er en stor fordel, når man studerer indviklede sammenhænge. Alle de forskellige indre strukturer er mulige at se ved hjælp af et almindeligt lysmikroskop, fordi ormen er gennemsigtig, og man behøver dermed ikke at dissekere den for at se, om der er udviklingsdefekter.

Man kan også ved brug af et fluorescensmikroskop direkte følge med i udtrykket af et bestemt protein, hvis proteinet er koblet til et fluorescerende molekyle som GFP (grønt fluorescerende protein).

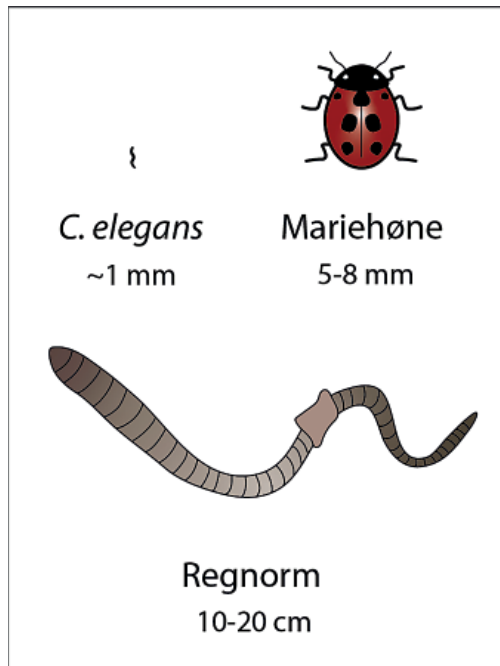
C. elegans findes primært som hermafrodit, som betyder, at den både producerer ægceller og sædceller og befrugter sig selv, og på den måde er afkommet genetisk identisk med hinanden. Det betyder, at man kan mindske baggrundsstøjen fra genetiske forskelle, som en menneskelig befolkning har, og dermed kigge isoleret på de ændringer i adfærd og udseende, som specifikke mutationer eller tilførte egenskaber har på ormen.

Orme som sygdomsmodeller

Kortlægningen af organismers genomer har haft en stor betydning for studier af sygdomsudvikling, og *C. elegans* var den første færdige organisme, som fik sit komplette genom kortlagt i 1998. Overraskende nok har det vist sig,

at antallet af gener i den lille orm ikke er langt fra det estimerede antal gener i et menneske, selvom antallet af kromosomer og celler er markant lavere (se faktaboks). Derudover er der stor lighed mellem mange af generne i *C. elegans* og menneskets gener, som betyder at genprodukterne (dvs. proteiner) også minder meget om hinanden, hvilket ligeledes afspejles i antallet af signalveje, som eksisterer i både orme og mennesker. Derfor er det muligt for forskere at få svar på komplekse spørgsmål om menneskelige sygdomsgener ved at kigge på orme.

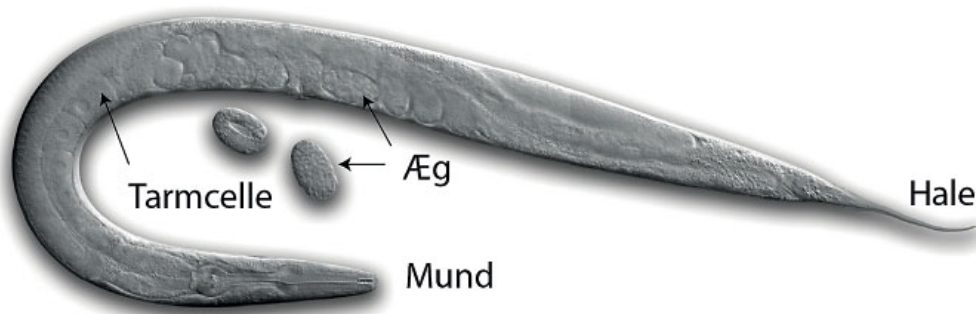
I kombination med molekylære teknikker er der blevet lavet et hav af forskellige sygdomsmodeller i *C. elegans*, hvor arvematerialet er blevet muteret, hele gener er blevet slettet, eller der er tilført nye gener, der er involveret i en bestemt sygdom hos mennesker. Den nyeste genmodificeringsteknik CRISPR, som kan lave præcise ændringer i arvematerialet, har revolutioneret



En mariehøne bliver omkring 5-8 mm, hvor *C. elegans* kun er ~1 mm, så den er langt fra så stor som en regnorm, der kan blive over 25 cm.



C. elegans blev introduceret til biologisk forskning i 1960'erne, men findes i naturen i jord og kompost, hvor dens normale føde er bakterier. I laboratoriet opbevares de på små agarplader med en bakterieplet på.



C. elegans er gennemsigtig, og dermed kan man se de forskellige strukturer ved at bruge et lysmikroskop. Dens mund og svælg knuser bakterierne, hvorefter de passerer videre til tarmen, der er lavet af store tarmceller. Den har også et forplantningssystem, hvor den producerer både æg og sædceller, og dermed bliver dens afkom til små kloner af sig selv. Foto: WormAtlas.org

muligheden og ikke mindst tidshorisonten for at lave nye modeller, der kan give ny viden om, hvordan genetiske ændringer er involveret i sygdomsudvikling.

Orme og aldring

Aldring er et eksempel på en proces, som *C. elegans* har givet forskerne mere indsigt i. Menneskets gennemsnitlige levetider har været stigende siden 1800-tallet, og det forudsiges, at spædbørn født i Danmark i dag i gennemsnit vil blive mellem 90 og 100 år. Da aldring er den største risikofaktor for at udvikle en række sygdomme, kan man frygte, at flere vil udvikle aldersrelaterede sygdomme i fremtiden. Det er derfor vigtigt

at finde årsagerne for så vidt muligt at kunne behandle og forebygge disse, således at alderdommen ikke bliver forbundet med sygdom og besvær, som er dyrt for samfundet og hårdt for individet og familien. *C. elegans* er en god modelorganisme til at studere aldring og aldersrelaterede sygdomme, fordi den har en kort levetid på 2-3 uger. Det gør det muligt at studere genetiske og miljømæssige ændringers virkning på grundlæggende mekanismer i en levende organisme på meget kort tid i forhold til andre modelorganismer som mus og højere forsøgsdyr.

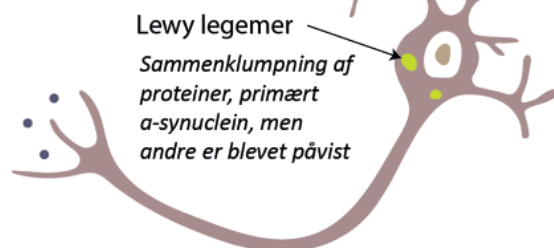
Ved at bruge *C. elegans* som modelorganisme er der blevet identifi-

ceret flere signalveje, som regulerer aldring. I slutningen af 1980'erne identificerede man for første gang et gen, der påvirker, hvor længe *C. elegans* lever, og det blev derfor kaldt *age-1*. Nogle år senere blev et andet gen identificeret, *daf-2*, som fordobler ormens levetid, når genet muteres. Begge gener har vist sig at indgå i samme signalvej, og nu ved man, at den er evolutionært bevaret, fordi man også ser forlænget levetid hos fluer og mus, når gener i denne signalvej muteres. Senere har studier i *C. elegans* og fluer (*D. Melanogaster*) identificeret et centralt protein i signalvejen, der regulerer levetiden. Det gen findes også i mennesker, og nu har man

Normal dopaminær neuron



Dopaminær neuron hos Parkinsonspatient



Nervecellerne, der producerer dopamin i den sorte substans i hjernen (*substantia nigra*), forsvinder gradvist hos patienter med Parkinsons. I de døende nerveceller kan man finde Lewy-legemer, som primært består af α -synuclein.

opdaget en genvariant hos nogle befolkningsgrupper, der hænger sammen med levetid.

Orme med Parkinsons

De samme signalveje, der påvirker levetid, er også ofte involveret i aldersrelaterede sygdomme. Parkinsons er en aldersrelateret nervesygdom, hvor antallet af patienter, der diagnosticeres stiger kraftigt efter 60 år. Hos Parkinsons-patienter ser man, at en bestemt type nerveceller dør i et område af hjernen kaldet den sorte substans (*substantia nigra*). Disse nerveceller indeholder signalstoffet dopamin og kaldes derfor dopaminerge neuroner. Dopamin er en del af hjernens belønningssystem og frigives, når vi føler os lykkelige, men det er også involveret i at finjustere bevægelser for forskellige muskelgrupper. Mængden af dopamin i dopaminerge nerveceller i den sorte substans er meget lavere hos Parkinsons-patienter og giver symptomer som stivhed i arme og ben, rystelser, samt ikke motoriske symptomer som udvikling af demens. Det vides stadig ikke, hvorfor denne specifikke gruppe af nerveceller dør, og der findes endnu ikke en måde at kurere eller bremse sygdommen på, derfor er det i dag kun muligt at symptombehandle. Et patologisk kendetegn for sygdommen er

sammenklumpning af forskellige proteiner (Lewy-legemer) i de døende nerveceller, hvor et dominerende protein er α -synuclein, som derfor er blevet nærstuderet i jagten på at finde den underlæggende mekanisme for udviklingen af sygdommen. *C. elegans*-modeller, der udtrykker det menneskelige α -synuclein-protein, udviser flere træk, der ser ud som dem hos Parkinsons-patienter, såsom tab af dopaminerge neuroner og øget sammenklumpning af proteinet, jo ældre ormen bliver. Mutationer i *daf-2*-genet, som indgår i den tidligere nævnte signalvej, der regulerer aldring, er blevet vist at dæmpe patologiske kendetegn i forskellige *C. elegans* sygdomsmodeller inklusiv Parkinsons, men også for Alzheimers og Huntingtons.

Giver ideer til fremtidige behandlinger

Selvom der ses mest α -synuclein i Lewy-legemerne, kan andre proteiner også give vigtig information om Parkinsons sygdom. Laboratoriegruppen under ledelse af Anders Olsen på institut for Kemi og Biovidenskab på Aalborg Universitet bruger *C. elegans* til at studere aldring og aldersrelaterede sygdomme, heriblandt at undersøge hvordan nerveceller ødelægges under Parkinsons sygdom. *C. elegans'* nervesystem består af kun 302 nerveceller, mens der er omkring 100 billioner neuroner i den menneskelige hjerne. Selvom antallet af nerveceller er lavt hos ormen, finder man blandt disse 118 forskellige under typer af neuroner, som giver en høj diversitet i ormens nervesystem.

Ved at udtrykke gensekvensen for proteiner fundet i Parkinsons-patienter i ormens dopaminerge neuroner, kan man studere, hvilken effekt proteinerne har på molekylært niveau og desuden finde ud af, hvilke molekyler det vekselvirker med. Ved at fusionere et protein til det fluorescerende molekyle GFP kan man også kigge på, om nervecellerne ændrer udseende. I en af sygdomsmodellerne for Parkinsons, som forskerne studerer i Anders Olsens laboratorium, ses det, at de dopaminerge neuroners form ændrer sig, jo ældre ormen bliver. Først er de runde, så bliver de mere aflange for til sidst at blive en tynd streng og helt forsvinde. Med så tydelig en ændring kan man introducere mutationer mange tilfældige steder i ormes arvemateriale og efterfølgende kigge efter orme med runde nerveceller, selvom de også udtrykker det Parkinsons-relaterede protein. Via denne fremgangsmåde har gruppen fundet flere mulige gener, som kan være mål for lægemidler i behandlingen mod Parkinsons sygdom i fremtiden.

Hjælper i kampen mod sygdommen ALS

C. elegans har en god historik, som en nyttig hjælper i jagten på ny medicin for menneskelige sygdomme. Ved at bruge orme-sygdomsmodeller, kan man screene tusindvis af kemiske forbindelser og finde kandidater, der har en gunstig virkning på forskellige faktorer, som er involveret i en bestemt sygdom. For nyligt er der eksempelvis blevet identificeret et lovende medikament

Videre læsning

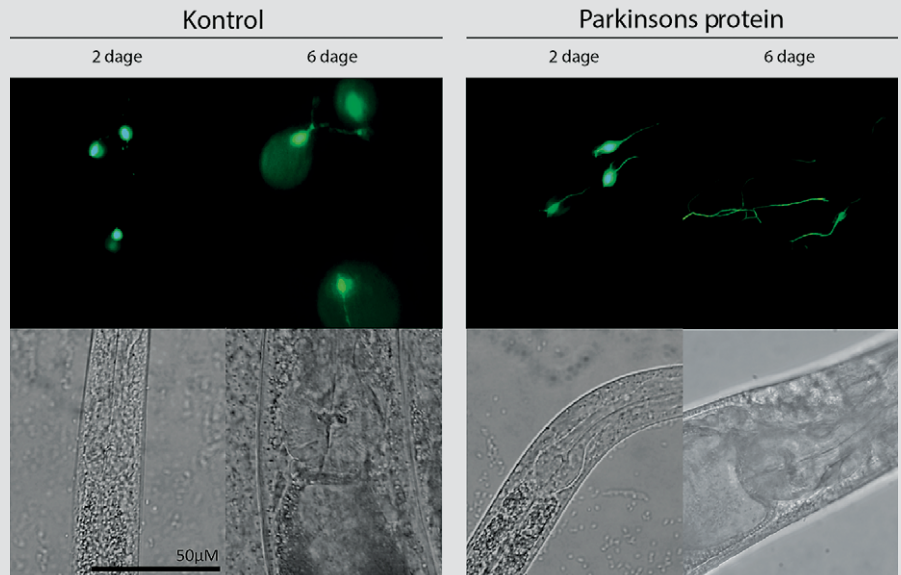
Thomsen, L.E., Færgeman, N.J. og Kallipolitis, B.H.: Orm som forsøgsdyr. *Aktuel Naturvidenskab* 3/2008

Apfeld J., Alper S. (2018): What Can We Learn About Human Disease from the Nematode *C. elegans*? *Disease Gene Identification. Methods in Molecular Biology*, vol 1706. doi: 10.1007/978-1-4939-7471-9_4

Christensen K.V., Morch M.G., Morthorst T.H., Lykkemark S., Olsen A. (2017): Microbiota, Probiotic Bacteria and Ageing. *Ageing: Lessons from C. elegans. Healthy Ageing and Longevity*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-44703-2_18

	Menneske	<i>C. elegans</i>
Celler	$\sim 7 \cdot 10^{13}$	~ 1000
Kromosomer	46	6
Gener	20 000	18 000
Neuroner	$\sim 20 \cdot 10^9$	302

De viste billeder stammer fra en *C. elegans*-sygdomsmodel for Parkinsons. Her udtrykkes et protein, der er blevet identificeret i Lewy-legemer sammen med α -synuclein i mennesker, i de dopaminerge neuroner i ormen. Man mener, at dette protein spiller en rolle i sygdomsudviklingen. Proteinet er koblet til det fluorescerende molekyle GFP, som gør at man let kan afsløre, hvor proteinet dannes, da det lyser op. Det er tydeligt at se, at mens de dopaminerge neuroner i normale orme er runde – og i store træk forbliver runde – så bliver de mere og mere aflange og trådliggende med tiden i sygdomsmodellen. Ved at afsløre den underliggende mekanisme og signalvej, kan man finde frem til mulige angrebsmål for fremtidige behandlinger af Parkinsonspatienter.



i behandlingen af den alvorlige nervesygdom amyotrofisk lateral sklerose (ALS), hvor patienten normalt dør indenfor få år. Her blev *C. elegans* brugt som screeningsplatform til at finde medikamenter, der modvirker nedsat bevægelighed. Det blev efterfølgende vist, at flere af de medikamenter, man fandt frem til, havde den samme effekt i zebrafisk og mus, heriblandt pimozide som

havde en særlig kraftig effekt. Derfor er pimozide nu blevet inkluderet i et klinisk studie med ALS-patienter, og det bliver spændende at se, hvordan og i hvor høj grad patienternes sygdomsforløb påvirkes.

Et uvurderligt værktøj for forskerne

Som det er fremgået, er der meget at lære fra orme. I denne artikel

har jeg kun givet nogle få eksempler på, hvordan denne simple modelorganisme har bidraget til forståelsen af menneskelige nervesygdomme. Men der er mange flere områder af biologien, hvor *C. elegans* har været et vigtigt værktøj, og alt peger på, at den uanseelige orm vil forblive en uvurderlig hjælp for forskerne mange år fremover. ■

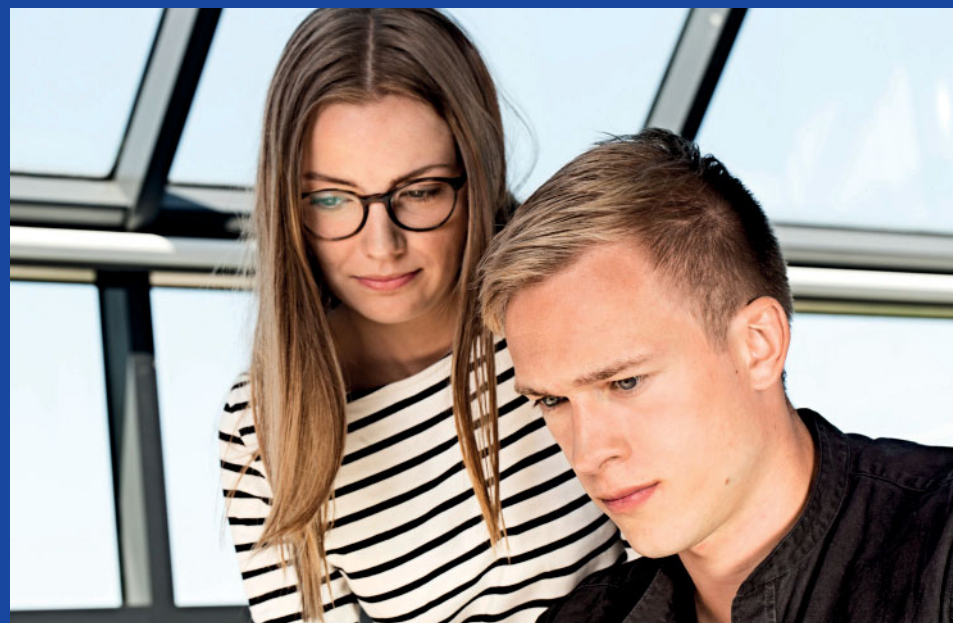
Study Mathematical Bioscience

Roskilde University offers a unique integrated master's programme for students with a deep interest in mathematics and biology.

Specialize in mathematical modeling of health and disease developments, ecology, or mathematical methods.

→ **Mathematical Bioscience**

ruc.dk/en/master/programmes



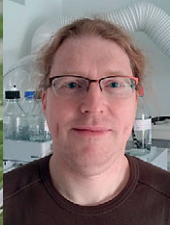
RUC

CANNABIS

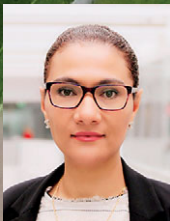
– Planternes grimme ælling

Cannabis-planten indeholder en perlerække af bioaktive stoffer, som har gjort den før så forkætrede plante til et varmt forskningsemne.

Om forfatterne



Lars Duelund er specialkonsulent og arbejder med at analysere og ekstrahere forskellige naturstoffer i planter. lad@kbm.sdu.dk



Rime El-Houri er adjunkt i naturstofs kemi og analytisk kemi og arbejder med at analysere og ekstrahere forskellige naturstoffer i planter. rbeh@kbm.sdu.dk

Begge er ansat ved Institut for Kemi-, bio- og miljøteknik, Syddansk Universitet, Odense

Hvis man har åbnet en avis eller set TV i de seneste par år, kan man næppe undgå at have hørt om alt det gode cannabis-planten, eller *Cannabis sativa* L. som den retteligt hedder, kan bruges til. Den kan kurere kræft, hjælpe på Parkinsons sygdom og autisme, og den kan berolige din hund nytårsaften, kort sagt: Det er lidt af et mirakelmiddel! Men det er ikke så mange år siden, at det var anderledes. Da blev cannabis kun omtalt, når politiet kunne melde om, at de havde beslaglagt partier af narkotiske produkter som hash, skunk eller marijuana, der kan laves ud fra planten – gerne krydret med en fortælling om, hvor farlig cannabis er at indtage.

Som en anden grim ælling er cannabis blevet udstødt og kanøflet, men nu ser det ud til at den kan springe ud som den nyttige plante, den i virkeligheden er. I mange dele af verden, for eksempel Canada og Colorado, er cannabis nu fuld lovlig som nydelsesmiddel, og mange andre steder kan den nu bruges medicinsk. Det sidste er også tilfældet herhjemme, hvor man nu er i gang med en fireårig forsøgsordning med brugen af cannabisprodukter som medicin, og derfor dyrkes den nu i

stor stil i drivhusene over hele landet, men især lige her rundt om Odense.

Men hvad er cannabis egentlig for en plante? og hvad er det for nogle indholdsstoffer, der gør, at planten er blevet tillagt så mange positive egenskaber? Hvordan dannes de, og hvordan virker de i kroppen? Det vil vi se nærmere på i denne artikel.

Cannabis-planten

Cannabis er en etårig, tvekønnet og hurtig voksende plante, der efter al sandsynlighed stammer fra Fjernøsten. Botanisk set tilhører planten familien *Cannabaceae*, på dansk Hampfamilien, hvor vi også finder humle. *Cannabis* er formelt et slægtsnavn, og i denne slægt finder vi kun en enkelt art, nemlig *Cannabis sativa* L.

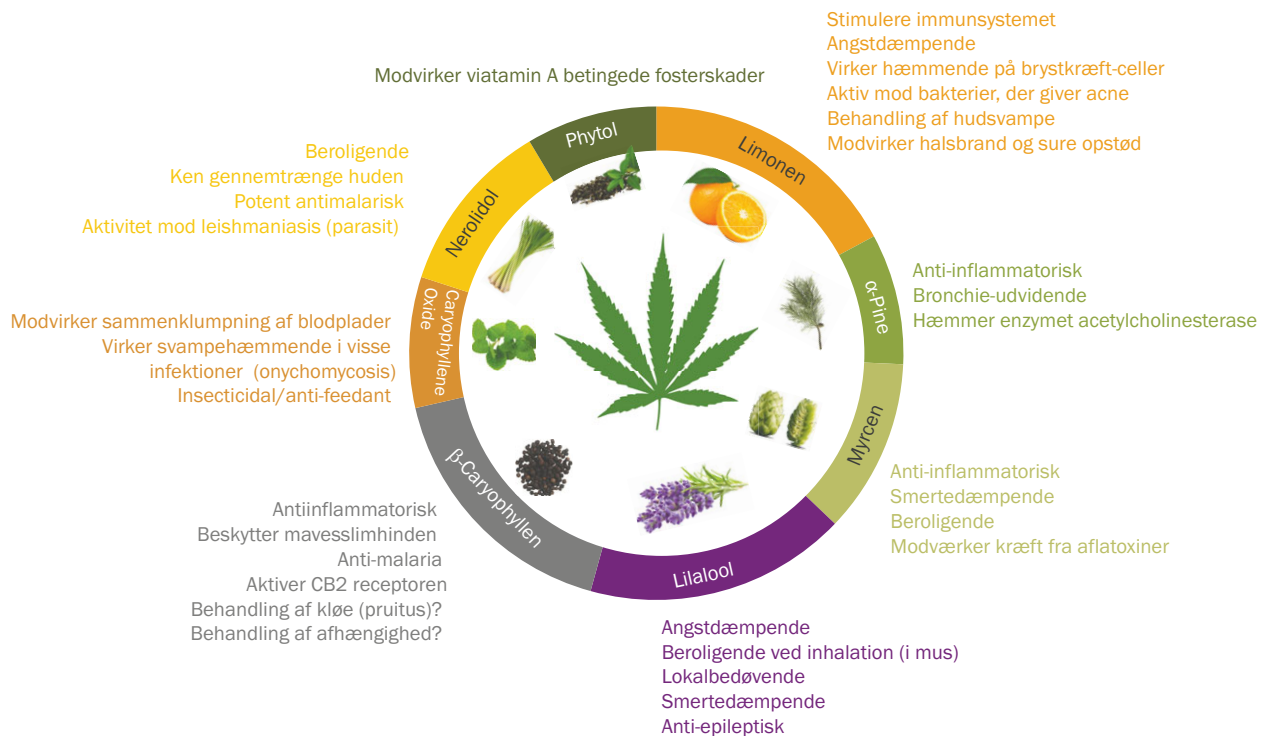
Cannabis er en af de planter, mennesker har dyrket i længst tid, et sted mellem 5500 og 8000 år. Igennem alle de år er mange forskellige dele af planten blevet udnyttet. De olieholdige frø er blevet brugt til dyrefoder, og af stænglerne har man udvundet fibre, der kunne bruges til fremstilling af klædestoffer og reb. Blomsterne og den olie, man kunne udvinde fra dem, har været brugt som naturmedicin. Men det ser ud til, at man også kendte til

plantens euforiserende virkning og derfor han anvendt dem i forskellige religiøse ceremonier. For eksempel har man for nylig fundet rester af cannabis på et 2500 år gammelt fyrfad fra en kinesisk gravplads. Dyrkning af planten spredte sig hurtigt fra Asien til Europa, men hvor man i Asien fortsatte dyrkning for at udvinde de euforiserede stoffer og olierne, har man i Europa primært dyrket cannabis for at kunne lave hampereb, der længe blev betragtet som det bedste reb, og til klædestoffer.

Indholdsstofferne

Når cannabis-planten den dag i dag er blevet et varmt forskningsemne – blandt andet i vores laboratorium – skyldes det ikke, at den er god at lave reb eller tøj med eller kan bruges som fødevarer. Nej, det skyldes alle de bioaktive molekyler, som findes i planten, især de grupper, vi kender som cannabinoider og terpenener. Disse stoffer findes især i hunplantens blomster, og det er dem, der bruges til fremstilling af både den medicinske cannabis og til den ulovlige narko.

De mest undersøgte stoffer er cannabinoiderne, som er en gruppe på mindst 110 forskellige forbindelser, der er særegne for *Cannabis sativa* L. Den mest kendte og undersøgte

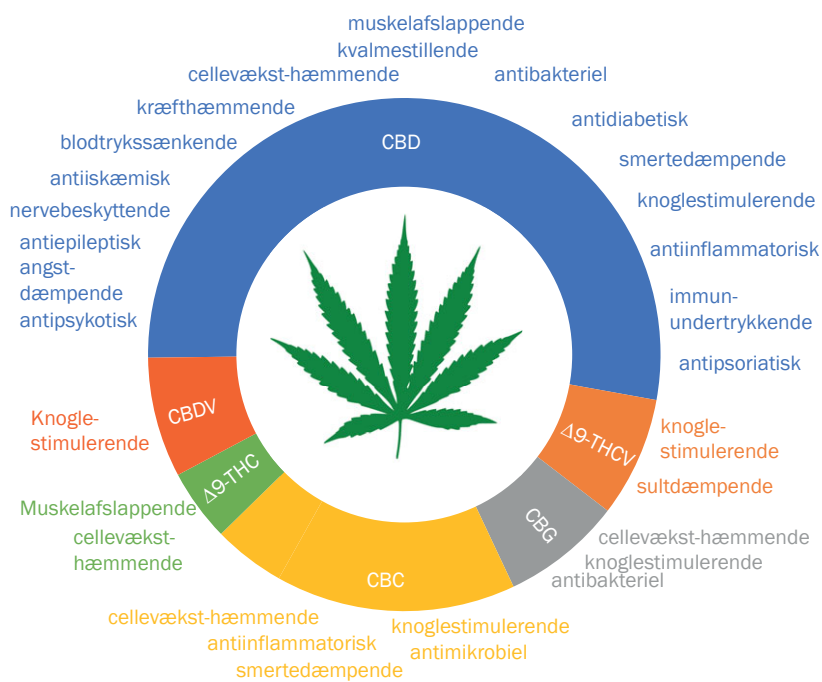


Eksempler på terpeni i Cannabis og disses påviste biologiske effekter.

af dem er Δ -9 tetrahydrocannabinol, forkortet THC, da det er det stof, der gør cannabis euforiserende. Også cannabinoidet cannabidiol, CBD, har tiltrukket sig stor opmærksomhed, da det også har vist sig at have en lang række forskellige biologiske effekter såsom at virke anti-bakterielt og hæmmende på kræft og diabetes. Da den højeste koncentration af disse stoffer som nævnt findes i hunplantens blomster, udøves der stor omhu for kun at dyrke hunplanterne både, når planten dyrkes lovligt og ulovligt.

Faktisk er det ikke stofferne THC og CBD, som planten laver – mere specifikt er det de såkaldte syreformer, kendt som THCA og CBDA, der syntetiseres i blomsterne. Disse stoffer kan så ved varmpåvirkning omdannes til de biologisk aktive stoffer THC og CBD. Det er også grunden til, at man normalt enten ryger cannabis-produkter (for eksempel i en joint) eller indtager dem efter opvarmning (for eksempel i hashkager), da man på den måde sikrer en hurtig optagelse af stofferne i organismen.

Det endocannabinoid system
Mange af de biologiske effekter af THC og CBD er medieret via det såkaldte endocannabinoid system,



Eksempler på cannabinoider i Cannabis og disses påviste biologiske effekter.

der er et af de mest komplekse signalsystemer, der findes i den menneskelige krop. Den centrale del af dette system består af cannabinoidreceptoren kaldet CB, som findes i to varianter, CB1 og CB2. Funktionelt er de to varianter identiske, men CB1 findes primært i nervesystemet og CB2 primært i immunsystemet. Cannabinoidreceptoren tilhører gruppen af G-protein-koblede recep-

torer, som der findes mere end 800 forskellige af i den menneskelige krop. De sidder alle i cellemembranen og har generelt den funktion at føre information ind i cellen ved at binde et signalstof – som i dette tilfælde er et endocannabinoid – dette medfører så en ændring i strukturen af receptoren på inder-siden af cellen og derved er informationen overført.

Et omstridt navn

Botanisk set tilhører cannabisplanten familien *Cannabaceae*, på dansk Hamp-familien, hvor vi også finder humle. Slægten er så *Cannabis*, og i den finder vi kun en enkelt art, nemlig *Cannabis sativa* L. Eller det er sådan, der efterhånden er blevet enighed om, at den skal klassificeres. Men intet med cannabisplanten ser ud til at være nemt, ej heller dens botaniske klassifikation. Den svenske botaniker Carl von Linné (Linnæus), der grundlagde den moderne biologiske klassifikation, har cannabisplanten med i sit store værk om planter *Species Plantarum* fra 1753. Den plante, han beskriver heri, er formentligt en plante dyrket i Sverige for at udvinde fibrene, men da han altid kun gav de mest nødvendige oplysninger i han værker, er man ikke sikker på det.

Den franske botaniker Jean Baptiste Lamarck fandt senere cannabisplanter i Indien, og da den havde andre morfologiske træk, klassificerede han dem som en ny art, *Cannabis indica*, dvs. cannabis fra Indien. Det ville ikke havde været et større problem, hvis ikke engelske botaniker nærmest have ophævet Linné til en gud (han mest fremtrædende elever blev kendt som hans disciple), og da Linné var stærkt uenig med Lamarcks læremester om det meste, blandt andet om arternes oprindelse, klassificerede de alle cannabisplanter som *C. sativa*, hvorimod alle franskmænd brugte *C. indica*. Ikke just befordrende for videnskaben, at man ikke er enige om navngivningen.

I 1970 dukker diskussion om antallet af arter i cannabisfamilien og klassifikationen af dem op igen. I USA var dyrkning af hamp til brug som narkotika stærk stigende og meget omdiskuteret. Den amerikanske botaniker Schultes, der var tilhænger af at lovliggøre cannabis, opdagede, at der flere steder i USA var et specifikt forbud mod arten *C. sativa*, men ikke mod familien generelt. Derfor slog han til lyd for, at der var flere arter i familien, blandt andet *C. indica*.

I dag er der efterhånden enighed om, at der kun er én art, *C. sativa*, og at der findes tre varianter af denne, nemlig *sativa*, *indica* og *ruralis*. Men med tiden er der så avlet så meget på dem, at forskellen på dem efterhånden ikke kan erkendes, selv med moderne DNA-analyser. Det er i modstrid med, hvad man ofte kan læse i den "alternative" litteratur, hvor fordele og ulemper ved *indica* og *sativa* diskuteres heftigt. Her skal man bare huske, at der er forskel på at tale om det botaniske udtryk *Cannabis sativa* L og de populære betegnelser *Sativa* og *Indica*.



Rime og studerende ser på cannabis i laboratoriet. Foto: Frederik Johs

Det endocannabinoide systems kompleksitet bunder i, at det stort set forekommer i alle dele af kroppen, hvor det medvirker til at opretholde ligevægt, også kaldet homøostase. Bedst forstået er, hvordan CB1-receptoren virker i nervesystemet. Overordnet hænger dens funktion sammen med, hvordan signaler transporteres i den menneskelige organisme gennem nerveceller. I selve nervecellerne sker denne transport i form af et elektrisk signal, men når signalet kommer til enden af nervecellen, overføres signalet som et kemisk signal (via såkaldte neurotransmittere) til den næste nervecelle gennem de såkaldte synapser, der er kontaktfladen mellem de to nerveceller. Hvis en stor dosis neurotransmittere når frem til modtagercellen, ved for eksempel en kraftig smerte eller anden stressreaktion, vil dette aktivere dannelsen af endocannabinoider, der så vil diffundere tilbage til synapsen og der binde sig til receptoren CB1, som sidder indlejret i membranen på afsendercellen. CB1-receptoren vil så aktivere et system, der hæmmer udskillelsen af neurotransmitteren. Dette vil altså dæmpe signalet og dermed dæmpe stressfølelsen, smerten eller, hvad der nu har forårsaget signalet.

Hvordan CB2-receptoren i immunsystemet virker er noget mindre

forstået, men det er formodentlig igen et system, der kan dæmpe responsen af andre stimuli.

Når systemet påvirkes udefra

Mens det endocannabinoide system normalt aktiveres af stoffer, der naturligt forekommer i kroppen (heraf navnet endocannabinoider) kan systemet altså også aktiveres af udefrakommende cannabinoider som CBD og THC.

THC binder sig til CB1- og CB2-receptorer, hvilket CBD ikke gør. Det har til gengæld en modvirkende effekt på nogle af THC's effekter. THC er et psykoaktivt stof, hvilket betyder at man bliver "høj" af det (det er derfor heller ikke muligt at dø af en cannabis-overdosis). CBD er ikke psykoaktiv, men har tværtimod anti-psykoaktive egenskaber. Det betyder, at man faktisk kan behandle en THC-induceret psykose med CBD.

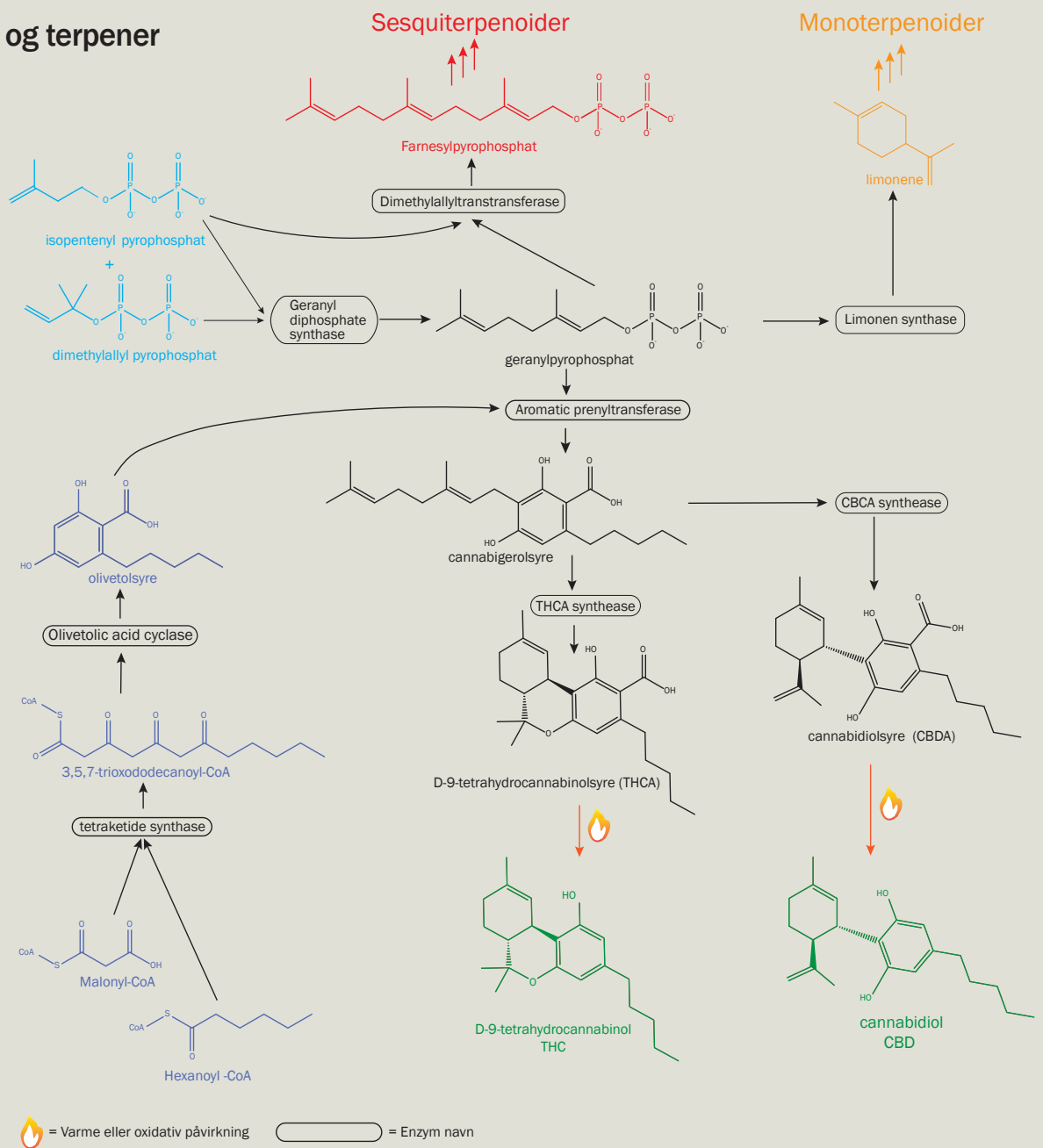
CBD påvirker dog også det endocannabinoide system: Dels ændrer det aktiviteten af enzymerne, der regulerer hele systemet, og derved ændrer det koncentrationen af den naturligt forekommende cannabinoid anandamid.

Det centrale enzym i det endocannabinoide system er fedtsyreamidhydrolase (FAAH), som nedbryder anandamid og dermed reducerer

Biosyntese af cannabinoider og terpen

I cannabisplanten har biosyntesen af terpen og cannabinoider et fælles udgangspunkt, nemlig stoffet geranylpyrophosphat. Denne forbindelse kan ringsluttet til monoterpenet limonen, der så igen kan omdannes til forskellige oxygenerede terpenoide. Geranylpyrophosphat kan også forlænges til farnesylphosphat, der så kan omdannes til forskellige sesquiterpener.

Geranylpyrophosphat kan i stedet blive kondenseret med olivetolsyre til cannabigerolsyre (CBGA). Denne omdannes så via to forskellige enzymer til THCA eller CBDA (dvs. syreformerne af THC og CBD), der er slutproduktet i planten. Det sidste trin i syntesen af THC, og de fleste andre cannabinoider, er så en afspaltning af syregruppen, en såkaldt decarboxylering. I modsætning til de foregående trin er dette ikke katalyseret af et enzym, men er en spontan proces, der sættes i gang af varme eller stærkt lys. Det betyder, at denne proces ikke er så specifik som de øvrige trin, og på den måde



kan også CBGA decarboxyleres til CBG. CBGA kan også reagere med andre aromatiske syrer såsom orcinolsyre og varinolsyre hvilket leder til

dannelse af andre cannabinoider. Samlet giver det et meget stort antal cannabinoider, og der opdages til stadighed nye af slagsen.

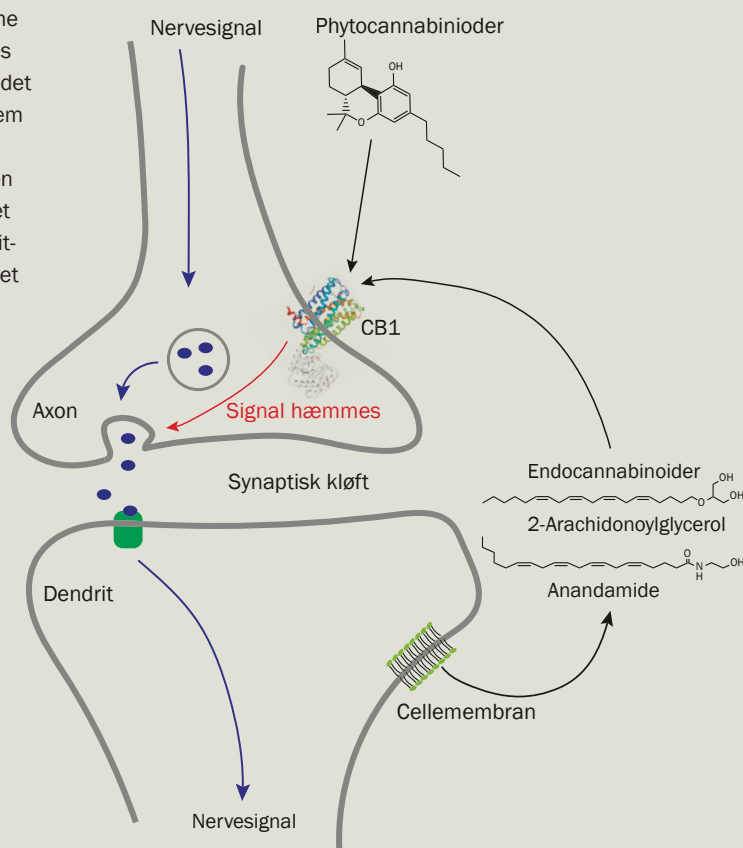
dette molekyles effekt på systemet. CBD er kendt som en hæmmer af FAAH, hvilket betyder, at CBD svækker FAAH og forhindrer det i at arbejde effektivt. Det resulterer i en øget koncentration af anandamid. Det skal dog nævnes, at CBD ifølge den nyeste forskning kun er en svag hæmmer af FAAH, så CBD's virkninger kan næppe henføres alene til dens effekt på dette enzym.

En anden indirekte virkning af CBD er på det fedtsyrebindende protein (FABP). I det endocannabinoid system binder dette protein til anandamid i synapsen og transporterer det uden for synapsen, hvor det nedbrydes af FAAH. CBD hæmmer bindingen af FABP til anandamid. Dette resulterer i mindre nedbrydning af anandamid og øger dermed dets virkninger på systemet.

CBD har også andre virkninger på kroppen: CBD binder sig til G-proteinreceptoren kendt som TRPV-1, som er involveret i regulering af kropstemperaturen samt opfattelsen af smerte og betændelse. CBD bruges også til at aktivere serotoninreceptorerne og kan ligeledes hæmme ID-1-genet, som forårsager forskellige typer af kræft.

Det endocannabinoide system

Figuren viser den centrale virkningsmekanisme i det endocannabinoide system. På figuren ses kontaktfladen mellem to nerveceller, også kaldet synapsen. Et nervesignal transporteres gennem nervecellerne som et elektrisk signal, men i synapsen overføres signalet fra afsendercellen (axonet) til modtagercellen (dendritten) som et kemisk signal i form af såkaldte neurotransmittere. Ved smerte eller stress vil der blive frigivet en stor dosis neurotransmittere, og når dette registreres af modtagercellen, aktiveres enzymer, der danner endocannabinoider (her 2-Arachidonylglycerol og Anandamide). Disse vil diffundere tilbage i synapsen og binde sig til cannabinoidreceptoren, hvilket vil hæmme frigivelsen af neurotransmittere. På den måde vil nervesignalet blive dæmpet, og hvis det for eksempel er en smertepåvirkning, der har udløst signalet, vil man altså opleve mekanismen som smertedæmpende. CB1 kan også påvirkes af udefrakommende endocannabinoider som THC og CBD fra cannabisplanten, og det er derfor, at disse stoffer kan bruges til for eksempel smertelindring.



Mere information:

Om cannabis' taxonomi: John M. McPartland & Geoffrey W. Guy: *Models of Cannabis Taxonomy, Cultural Bias, and Conflicts between Scientific and Vernacular Names*, Bot. Rev. (2017) 83:327–381

Tidlig brug af Cannabis: Meng Ren et.al.: *The origins of cannabis smoking: Chemical residue evidence from the first millennium BCE in the Pamirs*. Science Advances 12 Jun 2019, Vol. 5, no. 6, eaaw1391

Cannabis' indholdsstoffer og deres egenskaber: Christelle M. Andre, Jean-Francois Hausman & Gea Guerriero: *Cannabis sativa: The Plant of the Thousand and One Molecules*. Front. Plant Sci., 04 February 2016.

Tarmo Nuutinen: *Medicinal properties of terpenes found in Cannabis sativa and Humulus lupulus*. European Journal of Medicinal Chemistry Vol. 157, 198-228s.

Duftstoffer med et væld af effekter

Cannabinoiderne er ikke de eneste biologisk aktive stoffer, der findes i cannabisplanten. Som mange andre planter indeholder de også en lang række såkaldte terpenener. Det er en meget stor gruppe af carbonhydrider, der er afledt af isopren (C_5H_8) og som oftest er årsag til duften af de forskellige planter. For eksempel skyldes duften af fyrrenåle terpenen α -Pine, og duften af appelsin skyldes terpenen limonen. Terpenerne inddeles efter, hvor mange isopren-enheder, de er dannet ud fra. Eksempelvis er monoterpener dannet ud fra to ($C_{10}H_{16}$) og sesquiterpener ($C_{15}H_{24}$) ud fra tre. Der findes også en række iltholdige forbindelser, der er afledt af terpenenerne, og disse kaldes terpenoider.

I cannabis er der fundet mere en 100 forskellige terpenener og terpenoider, og det har vist sig, at de findes i meget forskellige koncentrationer alt efter sort og dyrkningsforhold.

De mest almindelige terpenener i cannabisplanten er:

Limonen, der har citrusduft og virker svampehæmmende. Det har også vist sig at kunne bruges til cancerbehandling.

α -Pine, der dufter af fyrrenåle og virker antiseptisk.

Myrcene, der har en moskusagtig duft og som virker kræfthæmmende, anti-inflammatorisk og muskelafslappende.

β -Caryophyllene, der har en peberagtig duft og som påvirker fordøjelsen. Denne terpen er vist at kunne binde sig til CB1 og dermed at kunne påvirke det endocannabinoide system.

Linalool, der har en blomsteragtig duft og menes at kunne dæmpe angst og hæmme kramper.

Entourage-effekten

En af de meget omdiskuterede observationer med cannabis er den såkaldte "entourage-effekt", også kendt som synergieffekten.

Navnet kommer fra det franske ord *entourage*, der betyder "omgangskreds" og dækker over det fænomen, at der ofte observeres en større biologisk effekt, hvis man bruger hele planten frem for enkelte stoffer fra planten. Denne effekt er ganske omdiskuteret, og den videnskabelige dokumentation peger ikke entydigt i den ene eller den anden retning.

På institut for Kemi- Bio- og Miljøteknologi på Syddansk Universitet i Odense har vi mange års erfaring med at analysere for og ekstrahere forskellige stoffer fra forskellige planter og den erfaring har vi nu overført til cannabis. I samarbejde med flere af de lokale avler har vi udviklet analysemetoder for de forskellige indholdsstoffer og brugt dem til at analysere en række forskellige sorter for at hjælpe avlerne med at få lige præcis de indholdsstoffer, de ønsker sig, og give dem en bedre indsigt og forståelse for indholdsstofferne. ■



KØBENHAVNS
UNIVERSITET

MØD OS DER BRÆNDER FOR NATURVIDENSKAB

Med en naturvidenskabelig uddannelse kan du
være med til at forandre verden til det bedre.

Gør studievalget lettere ved at tage et uddannelsesstjek,
blive studerende for en dag, besøge os med din klasse,
eller se film om uddannelserne.

[SCIENCE.KU.DK/BA](https://science.ku.dk/ba)

POLYMERERNE DER IKKE VIL KNÆKKES

– den organiske solcellerevolution
er på vej

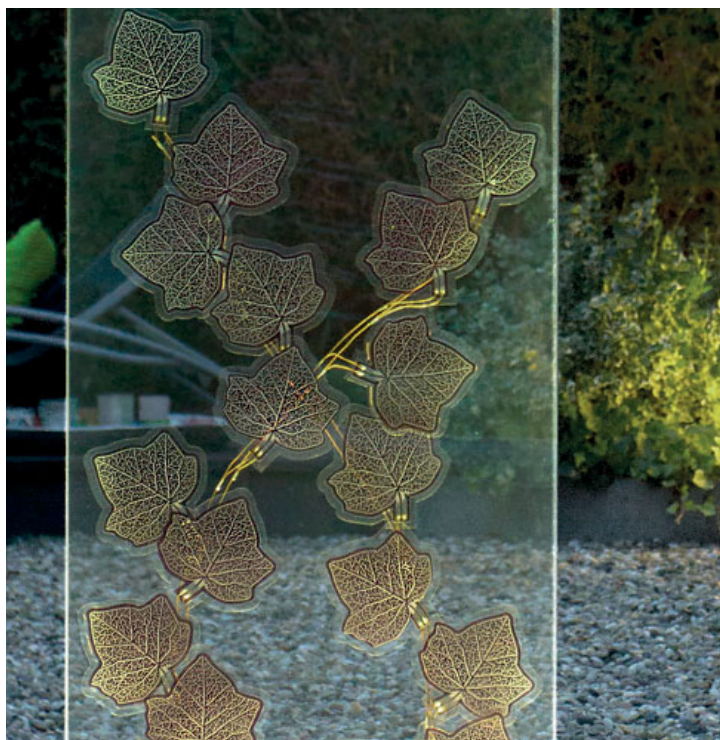
Organiske solceller er nu i laboratoriet tæt på at være lige så effektive som traditionelle solceller. Forskerne arbejder på at rydde de sidste hindringer af vejen for, at organiske solceller kan blive hvermandseje.

På et tidspunkt om ikke så forfærdelig mange år vil den måde, som vi mennesker udnytter solens energi på, sandsynligvis have ændret sig markant. Vi vil måske ikke kunne se det med det blotte øje, men ændringen vil være fundamental.

Vores vinduer er formentlig dækket med et tyndt og gennemsigtigt lag film, vores tage er dækket af et tyndt lag film og selv vores tøj er dækket med et tyndt lag film. Dette tynde lag film er solceller, der producerer strøm ved hjælp af Solens energi, og så er solcellerne organiske.

Med i denne transformation af måden at høste energi fra Solen på er en gruppe forskere fra Syddansk Universitet (SDU). De er med til at skubbe teknologien bag organiske solceller det sidste stykke vej, så de kan komme fra laboratoriet og ud i den virkelige verden.

»Mennesker bruger mere og mere energi, og vi kan ikke blive ved med at bruge fossile brændstoffer til at producere den. Derfor har vi brug for at udnytte alle de vedvarede energikilder, og her er Solen et sikkert valg, fordi den uden problemer



Eksempel på et kommercielt solcelleprodukt, som er udformet som dekorative blade og sat op på et stykke glas. Foto: www.opvius.com

kan forsyne os med alt den energi, vi skal bruge. De solceller, vi i dag benytter til at høste Solens energi, har dog en lang række begrænsninger, som organiske solceller ikke har, og derfor er organiske solceller interessante,« fortæller adjunkt Vida Engmann fra Mads Clausen Institutets OPV-gruppe i Sønderborg.

Omkostningseffektive og fleksible

Et af problemerne med de nuværende uorganiske solceller er, at de ofte bliver lavet af silicium eller galliumarsenid, der respektive er enten dyre, miljøbelastende, energiomkostningstunge eller lavet af sjældne materialer. Det er med

andre ord ikke altid en fuldstændig "grøn" løsning at lave grøn energi, da de materialer og processer, som indgår i produktionen af uorganiske solceller eller for den sags skyld vindmøller, ikke nødvendigvis alle er grønne.

Ydermere er uorganiske solceller ofte nogle tunge og uflexible strukturer, der skal monteres på en dertil indrettet mekanisk konstruktion, eksempelvis på en mark eller på et hustag. En stor del af omkostningen ved at installere uorganiske solceller går faktisk til netop at montere panelerne på denne konstruktion.

Hvis solceller skal blive en af de helt store spillere på fremtidens energimarked, er der dermed en masse udfordringer at tage sig af for de forskere, som skal udvikle måder at høste Solens energi på. Problemet kræver helt nye løsninger på flere niveauer.

»Der er nogle indlagte begrænsninger ved de solceller, som vi hovedsageligt benytter os af i dag, og de begrænsninger skal vi overkomme for at gøre solenergi til en mere attraktiv løsning i forhold til at løse klima-/energikrisen,« siger Vida Engmann.

Mange fordele i forhold til uorganiske solceller

Sammenlignet med de uorganiske solceller er organiske solceller en helt anden ting. De er opbygget af lange polymerkæder (kæder, der består af gentagne kulstofbaserede molekyler), og modsat plastik, tøj og overtræk på møbler, der også er lavet af lange polymerkæder, har disse specielle polymerkæder evnen til at lede strøm. Den evne stammer fra strukturen i polymerkæderne, som består af skiftevis enkelt- og dobbeltbindinger hele vejen langs kædens længde. Derudover er kæderne udstyret med såkaldte aromatiske ringe, som definerer polymerkædens evne til at optage sollys. Jo længere kæden er, des mere sollys kan den absorbere. Dette gør det muligt for polymerkæder at absorbere store

Vida Engmann

Vida Engmann er adjunkt ved Mads Clausen Institutet på Syddansk Universitet. Hun fik sin uddannelse på Faculty of Electrical Engineering and Computing ved University of Zagreb i Kroatien i 2009. Derefter skrev hun frem til 2014 sin ph.d. ved Institute of Physics på Ilmenau University of Technology, Tyskland. I 2014 flyttede hun til Danmark og blev post-doc ved NanoSYDs OPV-gruppe, som ledes af professor Morten Madsen, på Syddansk Universitet, hvor hun siden 2017 har været ansat som adjunkt.

Vida Engmanns forskningsinteresser er organiske solceller, polymernedbrydning, stabilisering af organiske materialer samt un-



Vida Engmann har desuden modtaget prisen L'Oréal UNESCO For Women in Science 2019

dersøgelser af organiske solcellers mekanik og levetid.
engmann@mci.sdu.dk

mængder lys, selvom de kun er få nanometer tykke og i tillæg ultra lette. Denne egenskab gør også, at organiske solceller kan laves gennemsigtige og bøjelige og formes til at have næsten en hvilken som helst struktur.

Ydermere er organiske solceller billigere at producere end de uorganiske, og en undersøgelse fra Danmarks Tekniske Universitet har vist, at blandt alle vedvarende energiformer er solenergi produceret ved hjælp af organiske solceller den energiform, der selv efterlader det laveste energiftryk – altså koster mindst energi at lave i forhold til energiudbytet. Samtidig har organiske solceller det laveste CO₂-aftryk på miljøet. Det gør det mange steder til en klar fordel at bruge organiske solceller til at lave grøn energi og strøm.

Sidst, men ikke mindst, behøver organiske solceller i modsætning til uorganiske solceller ikke direkte sollys for at fungere. De kan operere godt under diffus belysning eller sågar indendørs, hvis det skal være, dog med et mindre energiudbytte grundet den lavere belysning.

Ifølge Vida Engmann kan man forestille sig:

- Man benytter organiske solceller direkte på vinduer, så vinduerne bliver strømproducerende uden at miste deres gennemsigtighed. Det er endda muligt at kombinere solcellerne med et batteri og forbinde det til LED-lamper. Solcellerne kan derved producere elektricitet om dagen og lagre det i batterier, hvorefter LED-lamperne kan få strøm fra batteriet, når mørket falder på, så vinduerne i sig selv kan udsende lys, eksempelvis når det er gråt og kedeligt udenfor klokken 14:37 i december.
- Organiske solceller kan rulles ud som en film på et hustag, så hele taget bliver strømproducerende uden behov for store grimme metalkonstruktioner. Udefra kan man næppe se, at taget producerer strøm.
- De organiske solceller kan benyttes i forskellige strukturer, hvor det æstetiske er i fokus. At gøre en genstand strømproducerende kan i fremtiden blive lige så let som at vikle den ind i ét enkelt

Levetidsmålinger af organiske solceller i forskningslaboratoriet hos SDU. Foto: SDU

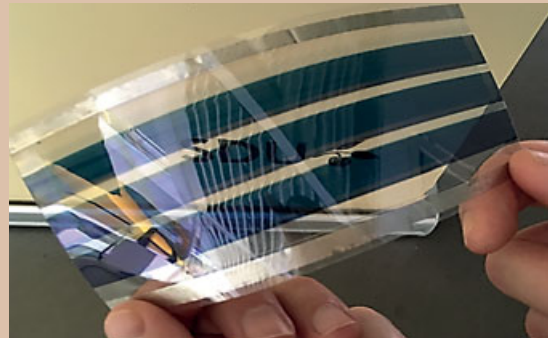


Sådan laver forskere organiske solceller

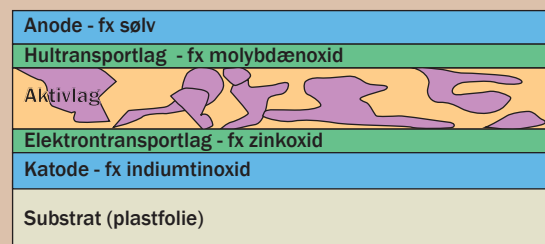
Organiske solceller er historisk set lavet ud fra et meget simpelt princip. I kernen af solcellerne er et lag af lange polymerkæder, som virker som elektrondonorer, og et lag af små molekyler, der virker som elektronacceptorer. Når Solens stråler rammer lagene, overføres ladningsbærere i form af en elektron fra elektrondonoren til elektronacceptoren. Dette er en solcelles hovedfunktion, og derfor kaldes dette lag for det aktive lag.

På hver sin side af henholdsvis elektrondonoren og elektronacceptoren er en anode og en katode, der kan trække elektrisk energi til at tænde eksempelvis en elpære ud af systemet. Katoden og anoden består af for eksempel indiumtinoxid (ITO) og aluminium, og ind mellem dem og det aktive lag ligger to tynde transportlag med eksempelvis zinkoxid oven på indiumtinoxid-laget og molybdænoxid før aluminiumslaget. Designet er med til at skabe en mere effektiv transport af elektricitet ud af systemet og minimere tab i processen. Samlet set udgør elektroderne, transportlagene og polymererne i midten en tynd energiproducerende sandwich, som bare skal have en smule lys for at producere strøm.

Helt så simpelt er det dog ikke, når vi taler om moderne organiske solceller. Frem for at have to lag af organiske materialer mellem en anode og en katode består kernen i moderne organiske solceller af et nano-mix af elektrondonorer og elektronacceptorer. Grunden til det er, at mixet giver donor- og acceptorlaget større berøringsflade og dermed bedre forudsætninger for hurtig ladningsoverførsel.



Transparent, fleksibelt organisk solcellemodul fra laboratoriet på SDU. Foto: SDU



Opbygningen af en typisk organisk solcelle.

Ud over de funktionelle dele består organiske solceller også af en masse stabiliserende lag, som har til formål at beskytte systemet mod omgivelserne, så det ikke nedbrydes af alt fra ilt til UV-lys. Derudover indeholder mange organiske solceller også elektronblokerende lag, som sikrer, at elektronerne ryger den rigtige vej i systemet.

lag husholdningsfilm. De forskellige komponenter i organiske solceller kan endda opløses i blæk, så de kan printes direkte på andre materialer.

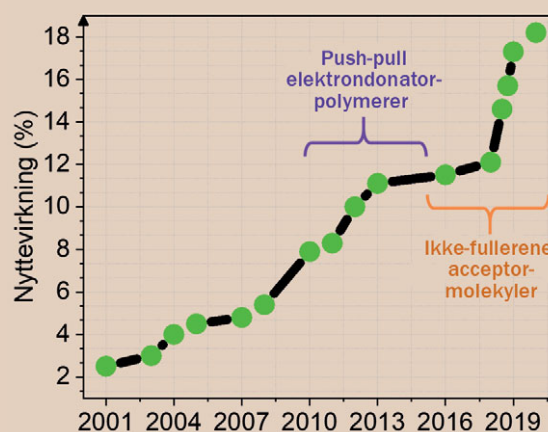
»Der er blandt andet lavet et projekt i Frankrig, hvor man ville installere solceller i nogle gamle landsbyer, men det måtte ikke gå ud over landsbyernes æstetiske og kultu-

relle udtryk, specielt omkring de gamle kirker. Der benyttede man så organiske solceller, fordi de stive strukturer og sorte overflader i organiske solceller aldrig ville være

Verdensrekorden i strømproduktion med organiske solceller

Nyttevirkningen for en solcelle angiver, hvor stor en brøkdel eller procent af den tilførte solenergi, der omdannes til brugbar elektricitet. Kommercielle uorganiske solceller har normalt en nyttevirkning på 15-22 procent. Verdensrekorden for en siliciumbaseret solcelle er 26,7 procent. Den blev sat af japanske Kaneka Corporation i foråret 2017.

Organiske solceller har altid haltet efter de uorganiske, men i april 2018 lykkedes det forskere fra USA at opnå en nyttevirkning på 15 procent, hvilket var en ny rekord. Den faldt dog allerede den 1. januar, hvor kinesiske forskere opnåede en nyttevirkning på 18,2 procent. De kinesiske forskere mener endda, at det er muligt at få nyttevirkningen over 25 procent, hvilket for alvor vil kunne konkurrere med nyttevirkningen for uorganiske solceller, der trods alt har haft 30 års udvikling mere på bagen.



Figuren viser udviklingen i nyttevirkning af organiske solceller over tid.

blevet accepteret. De organiske solceller kunne derimod integreres i omgivelserne,« forklarer Vida Engmann.

Organiske solceller har den fordel, at de kan have hvilken som helst farve, så i Frankrig var det muligt at opsætte dem i forskellige former og farver, der var lettere at skjule i bevoksningen, og på den måde bevare landsbyernes udtryk.

Firmaer laver tøj med organiske solceller i

Vida Engmann fortæller, at fremtiden højst sandsynligt kommer til at blive strømforsynet af en kombination af organiske og uorganiske solceller. De uorganiske kommer stadig til at dominere på hustage og marker, mens de organiske kommer til at indgå meget mere subtilt i vores hverdag. De kan indgå i alt fra strømproducerende vinduer og bygninger til strømproducerende tøj.

For nylig var Vida Engmann til en stor kongres om uorganiske solceller, International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaic Stability (ISOS), og her havde innovative firmaer præsenteret deres prototypeideer til blandt andet at indarbejde solcellerne i tøj, så tøjet kunne oplade en mobiltelefon. Andre havde lavet simple konstruktioner, hvor organiske solceller

holdt gang i et apparat til at tælle, hvor mange gange en dør åbnede, eller hvor mange poletter der blev fyldt i en maskine. Et firma havde endda udviklet skitøj, hvor en alarm automatisk ringede til alarmcentralen, hvis personen med jakken blev begravet af en lavine. Alarmen blev opladet med organiske solceller, der var integreret i skitøjet.

»De organiske solceller har nogle applikationsmuligheder, som vi slet ikke kommer i nærheden af med de uorganiske solceller. Det gør dem interessante, og de to kan jo komplementere hinanden,« siger Vida Engmann.

Nyt molekyle booster nyttevirkningen

De organiske solceller kommer dog ikke uden om deres egen stribe af problemer, som forskere som Vida Engmann netop nu forsøger at løse.

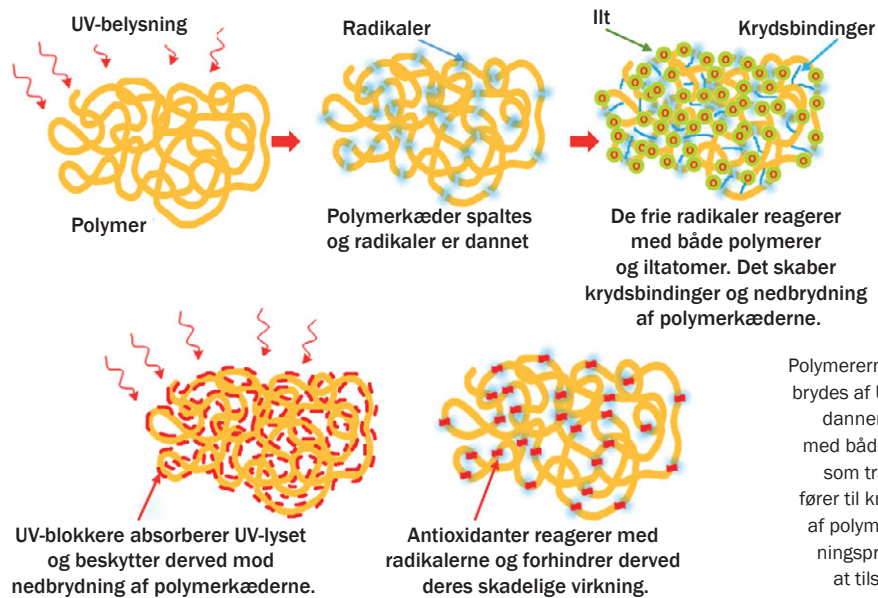
Det første og altoverskyggende problem er nyttevirkningen i de organiske solceller i forhold til de uorganiske. Kommercielle siliciumsolceller kan udnytte tæt ved 20 procent af lyset fra Solen, og i mange år har tallet for de organiske solceller ligget væsentligt lavere, hvilket har gjort dem uattraktive som alternativ. Det har dog ændret sig, så organiske solceller i dag (i hvert fald på forskningsplan) kan opnå en nyt-

tevirkning på 18 procent, og barren flyttes måned for måned.

Årsagen til gennembruddet inden for nyttevirkningen med organiske solceller er udviklingen af mere komplekse og mere effektive donor- og acceptormolekyler.

Den første store forbedring af nyttevirkningen, som i 2007 lå på 4,5 procent og ramte 15 procent i 2015, kom med udviklingen af en ny type donor-molekyler, de såkaldte push-pull molekyler. Disse polymerer er sammensat af henholdsvis elektronrige regioner, der skubber elektroner fra sig, og elektronfattige regioner, som trækker elektroner til sig. Samlet skaber polymererne hurtigere transport af elektroner gennem solcellen.

En anden komponent, der har øget nyttevirkningen i de organiske solceller, er de såkaldte ikke-fullerene acceptormolekyler. I mange år har lagene i de organiske solceller indeholdt fullerener, der er organiske molekyler (C_{60}) formet som en kugle, der agerer elektronacceptor. Indenfor de seneste to til tre år er der dog sket en udvikling inden for de organiske solceller på grund af fremkomsten af ikke-fullerene elektronacceptorer. Det er små molekyler med evnen til at absorbere et bredere spektrum af sollys og



Polymere i organiske solceller nedbrydes af UV-stråling, hvilket samtidig danner frie radikaler, der reagerer med både polymererne og iltatomer, som trænger ind i solcellen. Dette fører til krydsbinding og nedbrydning af polymerkæderne. Disse nedbrydningsprocesser kan modvirkes ved at tilsætte stoffer, der virker som UV-blokkere og antioxidant.

derfor også evnen til at skabe mere strøm.

»Udviklingen af ikke-fullerene elektronacceptorer er en revolution inden for vores felt, og det fik nyttevirkningen i solcellerne til at stige markant. De første effektive ikke-fullerene elektronacceptore indtog scenen omkring 2016, og i dag ser vi næsten hver måned nye rekorder i forhold til nyttevirkningen i organiske solceller netop på grund af dem. Vi er oppe på 18 procent og nærmer os de 20 procent, som i flere år har været standard for de kommercielle, ikke-organiske solceller,« fortæller Vida Engmann.

Vida Engmann forklarer dog også, at forskere indtil videre kun ser den høje nyttevirkning i laboratoriet, mens nyttevirkningen falder med omkring en tredjedel, når de organiske solceller bliver produceret under industrielle betingelser.

»Der bliver dog investeret massivt i forskningsinstitutioner og start-up-virksomheder, der adresserer problemet og forsøger at finde måder, hvorpå nyttevirkningen fra laboratorierne kan oversættes til nyttevirkning i den virkelige verden. Det er ikke en helt nem proces og kræver mange optimeringer af lagene inden i solcellerne, hvilket er noget, som vi også

forsøger at forbedre her på SDU, blandt andet i professor Morten Madsens forskningsenhed,« siger Vida Engmann.

Organiske solceller vil fungere godt på Mars

Når solcellerne holdes under optimale lysbetingelser og i iltfri omgivelser, fungerer de rigtig fint med høj energiudnyttelse. Når de til gengæld bliver udsat for primært UV-lys og ilt samtidigt, falder effektiviteten og dermed også den genererede elektricitet, hvilket er en udfordring for teknologien.

Dette skyldes, at når polymerkæder absorberer lys, bliver de ødelagt, hvilket reducerer kædernes evne til at absorbere mere lys og dermed producere elektricitet. Når polymerkæderne bliver brudt, bliver der desuden dannet frie radikaler, som tiltrækker elektroner, der derved ikke bliver omdannet til strøm. Disse radikaler kan også reagere med ilt i omgivelserne og dermed oxidere materialet og ændre på dets kemiske egenskaber.

Et vigtigt fokusområde for forskere er derfor at øge stabiliteten af organiske solceller, blandt andet ved at indkapsle dem på samme måde som astronauter indkapsles af en beskyttende dragt. Alligevel finder ilt og vand i form af damp

altid gennem indkapslingen og indtil solcellen, så problemet mangler stadig en endelig løsning.

Ydermere bliver solcellerne også mindre transparente og mindre fleksible med mere indkapsling, hvilket er to attraktive egenskaber ved organiske solceller. En mulig løsning kunne være at syntetisere donor- og acceptor-molekyler med mere stabile strukturer, men indtil videre er alle de nuværende state-of-the-art højeffektive materialer ret ustabile.

Det er her, Vida Engmanns forskning kommer ind i billedet.

»Det er meget svært at undgå at få ilt ind i systemet, og det kan vi ikke helt undgå, men vi kan designe forskellige løsninger, som får nedbrydningen af solcellerne til at gå langsommere, så de bevarer deres høje kapacitet for at producere energi længere. Organiske solceller vil fungere rigtig godt ude i rummet eller på Mars, hvor der ikke er noget ilt, men der skal arbejdes lidt mere på også at få dem til at fungere her på Jorden,« griner hun.

Reducerer nedbrydningen af organiske solceller

Den tilgang, som Vida Engmann har pioneret til at reducere nedbrydningen af organiske solceller, hedder "additive-assisted stabi-

lization". Den går meget simpelt ud på at blande stabiliserende elementer ind mellem donor- og acceptor-materialerne i de aktive lag i solcellerne.

Disse elementers rolle er at forhindre eller i det mindste reducere det mekaniske stress, som ender med at knække polymerkæderne og skabe frie radikaler. Et af de elementer, som Vida Engmann arbejder med, er et UV-absorberende materiale, som også findes i solcremer og beskytter huden mod Solens skadelige UV-stråler. Disse materialer er rigtig gode til at absorbere UV-delen af sollys og dermed beskytte de resterende lag i fotocellerne. På den måde bliver UV-lyset absorberet og frigivet som varme, mens polymerkæderne bliver forskånet for at gå i stykker.

En anden type materiale er anti-oxidanter, som man typisk finder i hudplejeprodukter, herunder cremer til at modvirke aldring. Disse materialer er rigtig gode til hurtigt at interagere med de frie radikaler i

Energikilde/teknologi	Tilbagebetalingstid for energi (år)	CO ₂ -udledning (kg/kWh)
Vind	0,39	0,027
Mono og poly Si-solceller	1,12	0,032 - 0,36
Amorfe Si-solceller	1,13*	0,011 - 0,226
CdTe solceller	0,44*	0,025
Organiske solceller	0,08*	0,01 - 0,06
Vandkraft	0,5	0,013 - 0,04
Geotermisk	0,54	0,041
Biomasse	5-10	0,045
Naturgas	-	0,751

Sammenligning af forskellige vedvarende energiteknologier i forhold til deres CO₂-udledning og tilbagebetalingstid. Efter Krebs et al. Adv. Mater., Vol 26, s 29-39 (2014), *opdateret fra www. opvius.com

polymererne (og i vores hud) og forhindre yderligere skader i de aktive lag i solcellerne.

Der er dog det problem, at i modsætning til huden skal solcellerne beholde deres elektriske og optiske egenskaber, så de kan absorbere og omsætte lys til strøm. Derfor må de materialer, som Vida Engmann putter ind i fotocellerne, ikke kompromittere solcellernes funktion på nogen måde.

»I vores studier har vi udviklet en metode til at kunne screene og ud-

vælge materialer, der ikke influerer på solcellernes funktion. Ved hjælp af denne metode har vi opnået signifikante forbedringer i stabiliteten af forskellige former for fullerene-baserede solceller. Vores test-solceller har øget effektudbyttet med en faktor 10, hvilket er verdensrekord til dato. På nuværende tidspunkt videreudvikler vi denne metode til også at kunne benytte den på de nye ikke-fullerene-baserede solceller med speciel fokus på dobbelt stabilisering, hvilket inkluderer både mekanisk og fotooxidativ stabilitet,« siger Vida Engmann. ■

Referencer

E. Destouesses, M. Top, J. Lamminaho, H.-G. Rubahn, J. Fahlteich, M. Madsen "Slot-die processing and encapsulation of non-fullerene based ITO-free organic solar cells and modules" Flexible and Printed Electronics 4, 045004 (2019)

V. Turkovic, M. Madsen "Inhibiting Photo-oxidative Degradation in Organic Solar Cells using Stabilizing Additives", Book chapter in "Devices from Hybrid and Organic Materials", World Scientific (2019); https://doi.org/10.1142/9789813270541_0012

V. Turkovic, S. Engmann, N. Tsierekos, H. Hoppe, U. Ritter, G. Gobsch "Long-term stabilization of organic solar cells using hindered phenols as additives", ACS Applied Materials & Interfaces 6, p18525 (2014); <http://dx.doi.org/10.1021/am5024989>

LabQuest 2

Digital dataopsamling



WiFi

USB

Bluetooth SMART



Kompatibel med Go Direct sensorer!

Den mest brugervenlige datalogger til undervisningsbrug - nogensinde...

- Dataopsamling via USB, Wi-Fi eller Bluetooth - tilslut op til 10 sensorer samtidigt
- Brug den med iPad, iPhone, Android, PC og Mac og del med 5 eller flere elever - kan også bruges i felten!
- Tilslut over 90 forskellige kablede sensorer og 40 trådløse, som kan tilsluttes via Bluetooth Smart eller direkte via USB-kabel - alle sensorer med AutolD
- 5 indbyggede sensorer: Lyd - lufttemp.- lys - GPS - acc.meter
- Indbygget periodisk system, dansk software, gratis opdatering og 5 års garanti
- Fungerer også som alm. måleinstrument med sensor

Best.nr. Labquest2

BESTSELLERPRIS kr. 3.350,-

Alle priser er excl. moms og gældende indtil andet angives

Go Direct™

Nu mere end 40 trådløse sensorer!

Kompatibel med LabQuest!



Bluetooth SMART

USB

Nu kan eleverne dataopsamle direkte i felten på mobilen, iPad, tablet eller PC/Mac via Verniers gratis App Graphical Analysis 4, der findes på alle platforme. Kan anvendes direkte til mobil eller som trådløs sensor til LabQuest2, som så kan deles via Wi-Fi...

Ilt-sensor gas

Måler oxygenkoncentrationen i luft og lufttemp.
Måleområde: 0-100% (0-1000 ppt) O₂

Best.nr. GDX-O2

GO DIRECT PRIS kr. 2.365,-

CO₂-gas sensor

Måler CO₂, temperatur og relativ fugtighed. Måleområde: 0-100.000 ppm

Best.nr. GDX-CO2

GO DIRECT PRIS kr. 2.295,-

Oxygen-sensor

Til måling af oxygen i væske

Måleområde: 0-20 mg/L, 0-300%

Best.nr. GDX-ODO

GO DIRECT PRIS kr. 3.595,-

Se mange flere Go-Direct på skolebutik.dk

skolebutik.dk

Se mere på vores webshop:
www.skolebutik.dk
- eller ring 4470 4000
Familiedrevet siden 1987...





NÅR KOSTEN KUN BESTÅR AF DYR

Foto: Aviaja Lyberth Hauptmann

Om forfatterne



Aviaja Lyberth Hauptmann er uddannet biolog fra Københavns Universitet og har en ph.d. i metagenomics fra Danmarks Tekniske Universitet.

I dag er hun ansat ved Grønlands Universitet i sine fødeby Nuuk, hvor hun leder projekterne Den Grønlandske Kostrevolution og det helt nye projekt UMAMI: the Unusual Microbiomes And Metabolites of Inuit foods i samarbejde med Københavns Universitet og University of California Davis. Aviaja er desuden aktiv blogger og debattør. alha@uni.gl



Dennis Sandris Nielsen er uddannet cand. technol fra Den Kongelige Veterinære og Landbohøjskole og har en ph.d. i fødevare-mikrobiologi fra samme institution. Han er i dag professor (MSO) ved Institut for Fødevarevidenskab, Københavns Universitet, hvor han dels forsker i sammenhængen mellem kost, tarmmikrobiom og sundhed, dels i fødevarefermentering i (næsten) alle dele af verden. dn@food.ku.dk

Grønlændernes kost har traditionelt været 100% animalsk, hvilket slet ikke passer med nutidens forestillinger om, at en sund kost skal være plantebaseret. Forskningen giver nu indsigt i, hvordan madens mikrobiologi er afgørende for, at man kan overleve og ligefrem trives på en animalsk kost.

I en tid, hvor en plante-baseret kost repræsenteres af Arnold Schwarzenegger, og hvor klimaet og vores klodes ve og vel er øverst på dagsordenen, taler man efterhånden sjældent åbent om de positive sider af en animalsk kost i det offentlige debat-rum.

Men for en befolkning som den grønlandske, hvis oprindelige kost var næsten 100% animalsk, er det vigtigt, at der fortsat er plads til den diskussion.

Det er baggrunden for forskningsprojektet *Den Grønlandske Kostrevolution*, som søger at forstå den grønlandske kost gennem madens

mikrobiologi. Hvad er de positive sider ved den grønlandske kost? Hvordan har man kunnet overleve på en kost stort set uden planter og fibre? Det er nogle af de centrale spørgsmål, vi søger svar på i forskningsprojektet.

Kostens mikroorganismer

I starten af 2020 udkom de to første artikler fra projektet. Den ene artikel handler om mikrobiomet på traditionelt tørret fisk fra Grønland, som sammenlignes med industrielt tørrede fisk. Den vigtigste hypotese i tørfisk-projektet er, at der er forskel på, hvilke mikroorganismer du indtager med dine tørfisk, hvis du spiser naturligt tørrede fisk

frem for industrielt tørrede fisk. Den væsentligste forskel mellem den oprindelige grønlandske kost og nutidens kost er nemlig, at traditionel grønlandsk mad ikke er industrielt produceret. Derfor er der stor forskel på, om du taler om en grønlandsk animalsk kost eller en dansk animalsk kost med dens tre-stjernede salami og leverpostej.

I tørfisk-studiet sammenlignede vi tre forskellige fisk, navnlig torsk, fjordtorsk og lodder. Lodden er en lille fisk, på grønlandsk kaldet *ammassak*, som tørres og spises hel. Torsk og fjordtorsk tørres i modsætning til lodden som fileter.

Lodder og den grønlandske kost

I mange år har kostenbefalingerne i Grønland været de samme som i Danmark. Det betyder blandt andet, at børn i Grønland har fået at vide, at de skal drikke godt med mælk for at dække deres indtag af calcium. Desværre er rigtig mange Inuit laktoseintolerante, hvilket kostenbefalingerne ikke har taget hensyn til. Men man kan faktisk dække sit calciumbehov fra fisk, hvis man spiser dem med ben, sådan som man ofte gør med tørrede lodder. En hurtig beregning viser, at du skal spise cirka 7-8 hele tørrede lodder, for at dække dit dagligt anbefalede indtag af calcium. Det er tilsyneladende ikke noget problem. Ifølge Alfred Berthelsen, der var læge i Grønland i starten af 1900-tallet, kunne en familie på fire bestående af mor, far og to børn på henholdsvis 4 og 7 år indtage knap 10 kilo (9988 gram) tørrede lodder på 14 dage. Det viser, hvor vigtig denne fisk har været for overlevelsen i Grønland i tider med mangel på frisk fangst.

Den oprindelige grønlandske kost har fascineret rejsende til Grønland i mange år. I 1908 rejste August Krogh og hans kone Marie Krogh til Grønland for at udføre eksperimenter, der skulle give dem en bedre forståelse for, hvordan man kunne spise så store mængder kød, som de havde hørt, at grønlanderne kunne. Ifølge deres observationer spiste de lokale i snit knapt et kilo sælkød om dagen og kun cirka 61 gram frugt og grønt fordelt på 55 gram bær og 6 gram bønner, hvoraf bønnerne var importerede. Før koloniseringen var der endnu færre planter i den grønlandske kost. I Østgrønland bestod op mod 98% af kosten af animalske produkter, før man havde adgang til importerede varer. Kosten har dog ændret sig markant på kort tid. Fra 1936 til 1988 kunne man observere et forøget indtag af kulhydrater på 700% for en gennemsnitlig ung grønlandsk mand.

Kilder: P. Helms, Tidsskriftet Grønland 1986 no. 5 samt P. Helms, Atuisoq 1988 no. 4, 7-8



Fotos: Aviaja Lyberth Hauptmann

Lodde/ammassak (*Mallotus villosus*).



Torskefileter til tørring. Vi undersøgte bl.a. om det betyder noget, om det sorte væv fra maven (ses på filet til venstre) tørres med, da det hører til den traditionelle praksis at fjerne det sorte væv.

Torsk og lodde blev tørret med forskellige traditionelle metoder og sammenlignet med industrielt tørrede torsk og lodder. Studiets resultater viste tydeligt, at der er forskel på, hvilke mikroorganismer der er på naturligt tørrede lodder sammenlignet med industrielt tørrede lodder.

Hvorfor er det vigtigt? Det er det, fordi vi i dag i højere og højere grad anerkender, at de mikroorganismer, vi har i tarmsystemet, er centrale for vores sundhed og velbefindende. Derfor er det også vigtigt at forstå, hvilke mikroorganismer og metabolitter produceret af disse mikroorganismer vi forsyner vores tarme med. Mad, der har en høj

grad af industriel forarbejdning, mistænkes for at skabe ubalance i vores tarmes økosystemer. Måske gavner det at forsyne tarmene med en diversitet af mikroorganismer fra naturen, der kan give input til nye organismer og nye gener i tarmene? Det ved vi endnu ikke, men nu kan vi i hvert fald med sikkerhed sige, at selv en meget let grad af industriel forarbejdning af tørrede lodder giver et anderledes aftryk af mikroorganismer end den traditionelle grønlandske tørring af lodder i naturen.

Vigtigt at inddrage lokal viden

Tørfisk-studiet ledte også til en spændende erkendelse om samspillet mellem naturvidenskab og

kultur. Vi havde fået tilsendt nogle helt særlige tørrede lodder fra Disko-øen ud for Grønlands vestkyst. Disse tørrede lodder er selvtørrede lodder, som i løbet af sommeren skyller op på stranden og ligger og tørrer spontant i strandkanten. Vi fik at vide af en lokal fra Disko, at disse er de bedste tørrede lodder. De smager bedre end andre slags tørrede lodder, som ofte hænges til tørre på huse eller lægges til tørre på jorden. Derfor var det interessant at opdage, at de mikroorganismer, som karakteriserede lige netop de spontant tørrede lodder, blandt andet var mælkesyrebakterier og propionsyrebakterier, en kombination velkendt fra osteindustrien. Disse

Mikrobiom

Et mikrobiom er den samlede pulje af mikroorganismer i et givent miljø eller en given prøve. Miljøet kan være alt fra en jordprøve til regnskoven, vores tarme, hud eller øregange. Et mikrobiom består oftest af millioner af mikroorganismer og kan indeholde over tusinde forskellige typer af organismer. Da man ikke kan undersøge hver enkelt celle eller type af mikroorganisme i et mikrobiom, ser vi på mikrobiomer gennem DNA fra mikroorganismene. DNA'et fra et mikrobiom kaldes ofte et metagenom. Et metagenom kan fortælle os, hvilke typer af mikroorganismer der er i en prøve og i nogle tilfælde også, hvad de er i stand til at gøre.

mikroorganismer er med stor sandsynlighed med til at give de spontant tørrede lodder deres karakteristiske smag. Denne opdagelse har givet os en erkendelse af, at det har stor værdi at have en forståelse for lokal madkultur og inddrage lokale i tæt samarbejde, når man arbejder med fødevarer, også selvom det er fra en naturvidenskabelig vinkel.

På ældgamle jagtmarker

*Den Grønlandske Kostrevolution*s andet projekt handler om jagt-mikrobiomet. I Grønland består en stor del af kosten af havpattedyr, og derfor er jagt ofte synonym med sælragt eller hvalragt. Men man har også i Grønland en tusindårig tradition for landbaseret jagt på rensdyr og moskusokser. For at få et indblik i den mad, som kommer ud af denne tusind år gamle jagttradition, var vi med på rensdyr- og moskusjagt i sommeren 2017. Jagten foregik i de ældgamle jagtmarker ved Angu-jaartorfik, som ligger i nærheden af

Grønlands internationale lufthavn i Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord).

Den traditionelle jagt i dette område indbefatter en cirka 15 km lang vandretur op i landskabet, hvor man ender på toppen af Akullinnguit med udsigt til indlandsisen. Vandreturen byder på mange møder med den arktiske flora og fauna, inklusiv kødædende planter ved søerne i det høje land, polarræve, harer, ryper og ikke mindst moskusokser og rensdyr, hvis man er heldig. Herinde, 15 km fra lejren, smager dyrene bedre. Det betyder dog også, at man skal bære de skudte dyr 15 km hjem til lejren, og det er lidt af en fysisk og psykisk udfordring, der dog er det hele værd. Når man har oplevet, hvilke fysiske og psykiske ressourcer der er lagt i et stykke tørret rensdyr eller en varm moskussuppe, så værdsætter man maden på et helt andet plan, end man gør, når man har hentet den i køledisken.

Naturen bidrager med variation i mikrobiomet

Resultaterne fra studiet var bestemt også strabadserne værd. Vi tog prøver til mikrobiombestemmelse og målte vandaktivitet gennem tørringsprocessen, som omfatter udskæring af kødet i tynde stykker, som herefter lægges ud på store grønne net.

I løbet af de 6 dage, hvor kødet blev fulgt, var dagstemperaturerne helt op på over 20 grader med lav luftfugtighed. Helt perfekt vejr til camping, jagt og kødtørring. Vandaktivitetsmålingerne viste, at vandaktiviteten i det tørrede kød hurtigt kom under det niveau, som mikroorganismer som bakterier og svampe kræver for at være aktive. På den måde kan det konkluderes, at denne traditionelle tørringsmetode er ganske effektiv.

Resultaterne fra studiet viser, at mad lavet i naturen har en variabel sammensætning af mikroorganismer på overfladen, der er uafhængig af arten af dyr, som kødet kommer fra, og uafhængig af tørringsperioden (så længe det ikke går alt for langsomt). Naturen er altså kilde til et variabelt mikrobiom på kød tørret i naturen. Det ligger helt i tråd med resultaterne fra tørfisk-studiet, som viste, at selv en let grad af industriel forarbejdning kan ensrette mikrobiomet således, at der er en simplere sammensætning af mikroorganismer på vores fødevarer. Men formålet med industriel forarbejdning er jo netop også blandt andet at sikre en høj fødevarerhygiejne. Jagt-studiet supplerer ved at vise, at naturen bidrager med en stor variation af mikroorganismer til mad lavet i naturen. Når vi vælger at spise industrielt fremstillet mad fravælger vi således også de potentielt gavnlige effekter af at indtage en variation af naturlige mikroorganismer.

Hvad rensdyrets mave fortæller

I sidste ende hænger alt dette sammen med en større diskussion af, hvordan vores moderne livsstil er med til at forme vores tarmes økosystemer i forskellige gode og dårlige retninger. Jagt-studiet

Maveindholdet på rensdyr kan opfattes som grønlandske grøntsager. Polarforskeren Kaj Birket-Smith beskrev i bogen *Eskimoerne* fra 1971 plantedelen af Inuits kost således: »Plantelivet er for fattigt til at yde noget stort bidrag til kosten, og selv en af de mest yndede slags "grøntsager" fås så at sige via dyreverdenen, nemlig det gærede let syrlige indhold af renens vom, der alle vegne anses for en store delikatesse.«



Foto: Aviaja Lyberth Hauptmann



Foto: Aviaja Lyberth Hauptmann

Tørring af moskuskød

gav også indsigt i et andet vigtigt aspekt af denne diskussion.

Før i tiden spiste man maveindholdet på rensdyr, og nogle gør det stadig den dag i dag. I maven på rensdyr fandt vi en meget høj diversitet af en bestemt type bakterier, nemlig *Prevotella*. Helt præcis 71 forskellige varianter af denne type bakterie var der i maven på rensdyret. Det gav anledning til en interessant overvejelse. *Prevotella* i menneskets tarme har været sat i forbindelse med en plante-rig kost hos oprindelige folk, da denne type bakterier ofte er gode til at nedbryde fibre fra planter, som mennesket ikke selv kan nedbryde. Det har været med til at skabe en ide om, at en planterig kost er godt for vores tarmes økosystemer, da man har observeret sundere tarm-økosystemer hos disse oprindelige befolkninger sammenlignet med europæiske befolkninger. Samtidig ved man, at nedbrydning af planter i vores tarme er med til at skabe biprodukter, der er sunde for tarmsystemet. Men hvad så med den grønlandske befolkning, som ikke har spist planter?

Feltlaboratorium

I projektet *Den Grønlandske Kostrevolution* har vi taget mikrobiologiske prøver og målt vandaktivitet i forskellige typer af grønlandsk mad. De mikrobiologiske prøver blev taget med en steril vatpind, som blev strøget over et cirka 10x10cm stykke mad, hvorefter spidsen af vatpinden lægges ned i et plastikrør med en væske, der holder DNA og RNA intakt, indtil prøven skal analyseres. Vandaktivitet er en af de faktorer, der bestemmer vækstbetingelser for mikroorganismer. Vandaktivitet er ikke det samme som vandindhold, men er et mere præcist mål for, i hvor høj grad vandet i et givent miljø er tilgængelig for levende celler. Hvis en fødevarer har en vandaktivitet (a_w) på under 0,60, vil mikroorganismer inklusive bakterier og svampe ikke kunne gro på denne fødevarer. En lav vandaktivitet slår dog ikke organismerne ihjel, men forhindrer yderligere vækst.



Foto: Aviaja Lyberth Hauptmann

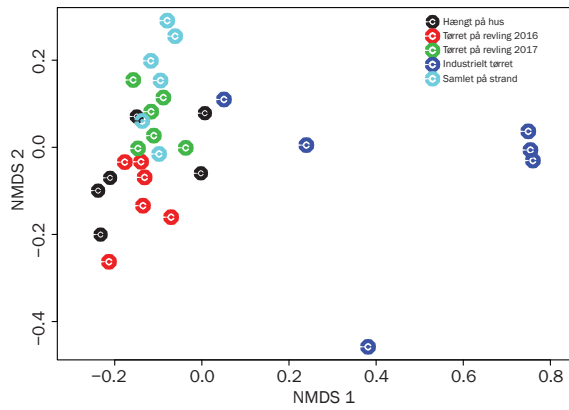
Mikrobiologisk prøvetagning

I vores studier har vi undersøgt mikroorganismene gennem deres DNA, hvilket giver et mål for samtlige mikroorganismer på overfladen af madden, både levende og døde. Hvis man vil vide, hvilke mikroorganismer, der er aktive, skal man se på RNA frem for DNA. Derfor kan vi ikke med sikkerhed sige, at de mikroorganismer, vi observerer er levende. Næste skridt vil være at lave en nøjere vurdering af, om der er forskel på, hvilke mikroorganismer der overlever tørringsprocessen.

Mere om projekterne:
Læs mere om forskning i Grønlandsk mad og mikrobiomer på www.agreenisland.com og lyt med på diverse podcasts om projektet her: nordicfoodtech.io

Projekterne Den Grønlandske Kostrevolution og UMAMI kan følges på Instagram @agreenisland. Den Grønlandske Kostrevolution er også med-initiativtager til Meaty Monday, der er et SoMe-initiativ, som præsenterer en nuancering af debatten omkring en animalsk kost fra et grønlandsk perspektiv. Følg initiativet på @meaty_monday på Instagram.

Aviaja L. Hauptmann et.al.: *Microbiota in foods from Inuit traditional hunting*. PLOS.One January 14, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227819>



Hvor forskellige er prøverne fra hinanden? Hver prøve resulterer i en liste over antallet af mange forskellige mikroorganismer i denne prøve. Når man skal sammenligne mange prøver, hver især med mange forskellige antal mikroorganismer, kan det være svært at få et overblik. Med metoden Nonmetric Multidimensional Scaling (NMDS) er det muligt at repræsentere data i mange dimensioner. Denne figur viser i to dimensioner forskellen mellem de forskellige lodde-prøver. Figuren viser, at prøver fra industrielt tørrede lodde (mørkeblå) er forskellige fra de traditionelt tørrede prøver (alle de andre farver).

Nu forholder det sig sådan, at vores tarmes økosystem tilpasser sig. Hvis du spiser masser af planter, vil der opstå et økosystem i tarmene, som er velegnet til at nedbryde planter. Hvis du ikke spiser planter, vil de mikroorganismer, der er vilde med planter, forsvinde, da de ikke har noget at leve af. Derfor ville det heller ikke have givet mening, hvis

man for 200 år siden havde fortalt grønlænderne, at fuldkorn er sundt, for de ville ikke have kunnet få det samme ud af fuldkornenes gode fibre, som en befolkning med et højt indtag af planter.

Det spændende ved at opdage *Prevotella* i maven på et rensdyr er, at det viser, at grønlænderne har haft

en anden kilde til de sunde biprodukter fra plantenedbrydning, selvom de ikke selv spiste mange planter og derfor ikke havde de fornødne mikroorganismer i tarmene. Derfor finder man en af nøglerne til, hvordan man har kunne overleve og trives på en animalsk kost i maven på rensdyret.

Mange perspektiver på sund mad

Den viden, vi har opnået i projektet, viser, at der er mange ofte usete perspektiver på sund og bæredygtig kost. Vi hører tit og ofte, at den, der spiser med omtanke, spiser planter. Det er godt for både mennesker, dyr og planeten. Det er også sandt, men det er ikke hele sandheden. Mennesker, dyr og planter får det ikke bedre af, at vi alle bliver Oreo-spisende veganere. Samtidig er der steder på jorden, hvor befolkninger spiser dyr med stor respekt for dyr, natur, miljø og sundhed.

Næste skridt er et stort projekt om grønlændernes tarm-økosystemer, hvor vi blandt andet kommer til at undersøge, hvordan traditionel versus importeret mad påvirker disse økosystemer. ■

Ny viden om antistof

Endnu et skridt på den lange vej mod afklare, om der er forskel på egenskaberne af antistof og almindeligt stof er taget. Forskningskonsortiet ALPHA ved CERN, der er ledet af Jeffrey Hangst, Aarhus Universitet har studeret det såkaldte lamb-skifte i antihydrogen, som er forskellen i energi på to tilstande kaldet henholdsvis $2S_{1/2}$ og $2P_{1/2}$. Disse tilstande refererer til energien for en elektron, der befinder sig i den anden mulige bane omkring hydrogenkernen med henholdsvis en s- og en p-orbital. Det interessante ved lamb-skiftet er, at der ifølge fysikkens teorier fra 1930'erne ikke skulle være forskel på disse to tilstande, men i 1947

viste fysikeren Willis Lamb, at det var der, hvilket var en vigtig begivenhed i den moderne fysik, idet det inspirerede andre fysikere til at udvikle den såkaldte kvante-elektrodynamik.



Foto fra Alpha-eksperimentet ved CERN. Foto: CERN

Tidligere har Alpha-eksperimentet bestemt forskellen mellem grundtilstanden kaldet 1S og den exciterede tilstand 2S i antihydrogen og fundet, at der indenfor usikkerheden ikke var nogen forskel til almindelig hydrogen. Ifølge teorien vil der heller ikke være forskel på lamb-skiftet i antihydrogen og hydrogen, og det nye studium finder da også, at deres præcisionsmålinger af lamb-skiftet i antihydrogen er i overensstemmelse med teorien.

Sammenligningerne af egenskaberne af stof og antistof er afgørende for at forstå, hvorfor universet i dag ser ud, som det gør. Ved Big Bang blev der nemlig ifølge teorien dannet lige meget stof og antistof,

men siden er det almindeligt stof, der har dannet stjerner, planeter og liv. Så en eller anden forskel må der være.

CRK, Kilde: *Nature* vol. 578, pp 375–380(2020)

OPLEV UNIVERSITETET INDEFRA

BLIV STUDERENDE FOR EN DAG

Kom med og følg hverdagen som studerende på Aarhus Universitets naturvidenskabelige uddannelser og ingeniøruddannelser.

Oplev studielivet, kom med til undervisning og stil dine spørgsmål til den universitetsstuderende, som du følger, mens du er 'studerende for en dag'.



Fotografer: Anders Trærup og Lars Kruse, AU Foto

Læs mere og tilmeld dig på

[NAT.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG](https://nat.au.dk/studerendeforendag)

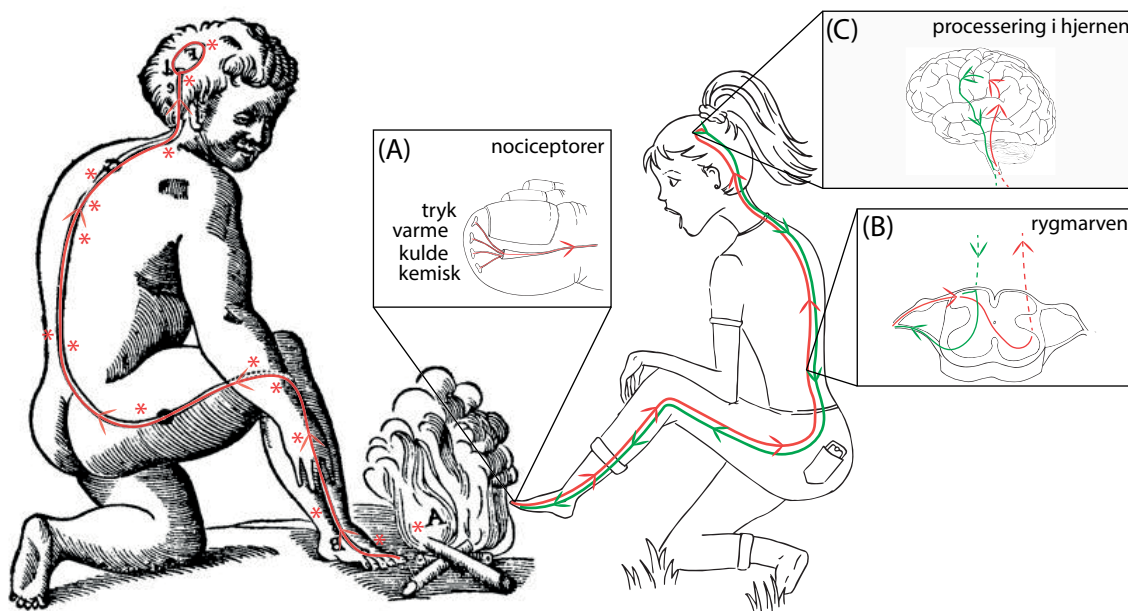
 NATURAL SCIENCES
AARHUS UNIVERSITET

[TECH.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG](https://tech.au.dk/studerendeforendag)

 TECHNICAL SCIENCES
AARHUS UNIVERSITET

NÅR SMERTE BLIVER EN SYGDOM

Smerte er et komplekst fænomen, som vi ikke forstår til fulde. Ved at zoome ind på det lille molekyle sortilins rolle i smertesystemet, når det er ude af balance, håber forskere ved Aarhus Universitet at kunne give inspiration til nye behandlinger.



I 1164 forklarede den franske filosof René Descartes smerte som bittesmå partikler, der, efter at være sat i bevægelse af en smertefuld impuls, når hjernen, hvorved en dyrisk ånd vil få personen til at reagere. I dag forklarer vi smerte ud fra smerteportsteorien af Melzack og Wall (1965). Ved stimulering af nociceptorerne (A) sendes et aktionspotentiale af sted

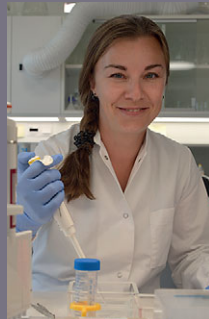
via dorsalrodsganglierne til rygmarven (B). Signalet sendes videre via hjernestammen til hjernen (C), hvor det ved hjælp af adskillige afgrænsede hjerneområder opfattes og evalueres, hvorefter signalet sendes tilbage til foden, således at personen kan reagere. Det er især i disse knudepunkter, at der i tilfælde af kronisk smerte ses tydelige forandringer.

Hvad er smerte? Det er et fænomen, alle kan relatere til og derfor gennem tiden har beskæftiget tænkere på tværs af discipliner inden for filosofi, kunst og forskning. Set med naturvidenskabelige briller har vi flyttet os en del siden 1664, hvor den franske filosof René Descartes forklarede

smerte med følgende eksempel: Hvis en persons storetå kommer i kontakt med noget smertegivende som ild, vil bittesmå partikler blive sat i bevægelse i storetåen, der så drøner direkte op i hjernen. Midt inde i hjernen vil der åbnes en lem, der lader en dyrisk ånd slippe ud, hvorved personen vil reagere.

I dag er den gængse teori lidt mindre malerisk: Smerte forklares ved, at nerveceller leder signaler til og fra hjernen via elektrokemisk signalering (en teori kaldet smerteportsteorien udviklet af Melzack og Wall i 1965). Nervebaner fungerer med andre ord som en slags ledninger, der ved hjælp af ioner og signalmolekyler kan sende en

Forfatteren



Mette Richner har en kandidatgrad i molekylærbiologi, og hun har siden starten af sin ph.d. beskæftiget sig med neuropatisk smerte på institut for Biomedicin ved Aarhus Universitet i samarbejde med bl.a. H. Lundbeck A/S og en af de førende smertegrupper under ledelse af professor Yves De Koninck, Québec, Canada.

Hun er nu ansat som adjunkt på Biomedicin, hvor hun arbejder på at afdække flere mekanismer, der ligger til grund for neuropatisk smerte. mette.richner@biomed.au.dk

besked fra kroppens yderområder via rygmarven til hjernen. Hjernen evaluerer signalet og sender straks besked til kroppen om, hvordan den skal reagere. Det er imidlertid kun selve den overordnede smertesignalering, der forklares med denne model. Vores viden om, hvad der ellers påvirker de milliarder af nerveceller, som nervesystemet består af, på celleniveau og molekylniveau er stadig fyldt med store sorte huller.

På Aarhus Universitet arbejder vi på at fylde nogle af disse videnshuller. Konkret forsker vi i, hvad der sker, når nervebaner i benet (en del af det perifere nervesystem) beskadiges, for så at se, hvordan det påvirker nøje udvalgte proteiner i rygmarven (en del af centralnervesystemet). På længere sigt vil denne viden måske give ideer til, hvordan man kan "puffe" proteinerne tilbage til normaltilstanden, så smerterne forsvinder.

Det er alt sammen i dit hoved

Men først tilbage til scenariet, hvor foden kommer i kontakt med noget, der giver smerte – for eksempel et bål! Hvad sker der? I foden finder vi enden af kroppens suverænt længste ledning: ischiassnerven. Man kan forestille sig, at denne ledning består af mange små kobbertråde, dvs. enkelte nerveceller, der har forskellige egenskaber. En del af dem har en høj tærskelværdi og signalerer derfor kun efter kraftige påvirkninger, som kan være temperatur eller have kemisk eller mekanisk karakter eller en blanding af disse. Den slags nerveceller kaldes nociceptorer. Ioner begynder at suse ind og ud af nervecellerne gennem deres membran, hvorved der genereres et smertesignal, et såkaldt aktionspotentiale, som lynhurtigt flytter sig langs med hele nociceptoren for at ende oppe ved rygmarven. Der sidder en slags muffe (synapser), der forbinder nociceptoren fra foden med de næste nerveceller, som via hjernestammen leder smertesignalet op til hjernen. Gennem et sindrigt virvar af nervecel-



Smerte er subjektivt og svært at sætte i system. Foto: Colourbox

ler og synapser evaluerer hjernen lynhurtigt, hvad der er smartest for kroppen at gøre. Beskeden sendes fra hjernen via rygmarven tilbage til foden: Av! Flyt foden, og gå uden om bålet.

Overraskende nok kan to personer, der brænder foden på bålet på præcis samme måde, reagere helt forskelligt. Det er nemlig ikke udelukkende selve signalet, der går fra kroppen til hjernen, der er afgørende for, hvor ondt det gør. I modsætning til René Descartes teori, er man i dag klar over, at smertesignalet fra foden til hjernen ikke er et lukket system. Allerede i rygmarven kan signalet dæmpes eller øges ved påvirkning fra andre nerveceller. I hjernen kan tidligere oplevelser have sat sine spor i form af ændrede sammenkoblinger mellem hjernens nerveceller, der har dannet en slags smertehukommelse. Desuden bliver smerter påvirket af noget så uhåndgribeligt som følelser, tanker, kultur og tro.

Kroppen er til en vis grad i stand til at producere sine egne smertehæmmende stoffer, endorfinerne. Det er endorfinerne, der i kæmpeller-flygt situationer for en stund kan lukke ned for smerter, og de fungerer måske også som kroppens egne smertehæmmere, der i nogle tilfælde kan fjerne smerte, hvis bare man tror nok på det. Det

er dermed situationens kontekst, dvs. hvordan signalet bliver påvirket på vejen op til hjernen, og hvad hjernen ender med at gøre med disse signaler, der definerer den endelige smertefølelse. Det er præcis dét, der gør smerte subjektivt og meget svært at sætte i system.

Den gode smerte

Normal smerte deles op i to faser: I den første fase signalerer hurtige nerveceller med over 100 km i timen, hvilket resulterer i den første intense smertebesked i hjernen. I den anden fase kommer de langsomme nerveceller på banen, der kun signalerer med 2-3 km i timen, og det kan mærkes som en sumrende og mere diffus smerte, der dukker op lidt senere. Som følge heraf sker der plastiske forandringer i hjernen, dvs. vi lærer af vores handling. Normal smerte har altså både den funktion, at foden ikke tager yderligere skade i selve øjeblikket, og at der lagres erfaringer om, hvordan vi skal reagere på en lignende situation i fremtiden. Sat lidt på spidsen, sikrer smerte artens overlevelse. Det kan godt være, at der er sket lidt skade på foden, men den gode smerte, den akutte smerte, går over igen efter nogle få sekunder, timer, uger eller i værste fald inden for 3-6 måneder, når foden er helet, og ødelagt væv er gendannet.

Fakta om neuropatiske smerter

Mere end 8 % af den samlede befolkning ansås at være ramt af neuropatisk smerte. Antallet vil kun blive endnu større i fremtiden i takt med længere levealder og flere livsstilssygdomme. 3-10 % af vestlige landes BNP bruges på behandling og socioøkonomiske udgifter i forbindelse med kroniske smerter

Symptomer på neuropatisk smerte

- Smerte efter stimuli, der normalt ikke gør ondt (allodyni)
- Øget smerte efter stimuli, der normalt kun i et begrænset omfang gør ondt (hyperalgesi)
- Følelseløshed, spasmer, spontane smerter

Hvad kan give neuropatisk smerte?

Tal i parentes = hvor mange af disse patienter, der rammes

Direkte nervebeskadigelse

- amputation (50-80%)
- trauma i hjerne/rygmarv (67%)

Indirekte nervebeskadigelse

- kemoterapi (op til 85% afhængig af kemotype)
- diabetes (30-50%)
- multipel sklerose (28%)
- helvedesild (8%)
- blodprop (8%)

Hvorfor er neuropatisk smerte så svær at forstå og dermed behandle?

Smerter er et generelt symptom på, at der er noget galt, og kan dermed være fælles for mange forskellige årsager

Forandringer flere steder (spreder sig med tiden): lokalt, rygmarv, hjernen

De underliggende mekanismer kendes ikke til fulde

aktionspotentiale end i en normal tilstand.

4) I hjernen sker der plastiske forandringer, der gør, at smertesignaler pludselig opfattes kraftigere.

Der sker med andre ord en fysisk, kemisk og dermed funktionel ændring, der gør hele systemet mere sensitivt. Situationer, der normalt kun opfattes som let berøring, gør pludselig ondt, ting, der normalt gør ondt, gør nu enormt ondt, og smerte kan opstå ud af det blå. Dette kalder man neuropatisk smerte.

Men hvordan får man systemet i balance igen? For at kunne svare på det spørgsmål må man blandt andet kortlægge de præcise forandringer helt ned på molekylniveau – og det er netop det, vi prøver på i vores forskning på Aarhus Universitet.

Sortilin – en vigtig brik i det store puslespil

I vores forskning laver vi forsøg med mus, som bliver udsat for forskellige skader på det perifere nervesystem, som hver repræsenterer en bestemt skadestype hos mennesker, der kan give neuropatiske smerter. Derefter udsættes musene for adfærdsforsøg, der afspejler, at de for eksempel føler øget smerte i bagpoterne. Desuden udtages vævsprøver fra skadestedet, dorsalrodsganglierne og rygmarven for at analysere, hvordan alt dette påvirker proteinerne. Når der er dannet et snapshot af proteinernes mængde i et givet scenarie, kan vi sammenligne med en helt almindelig mus og i bedste fald samle et proteinpuslespil, der viser, hvilke mekanismer der ligger til grund for udvikling af smerte efter en bestemt slags nerveskade.

Vi har i forskningen opsat et scenarie for kronisk smerte med fokus på forandringerne i rygmarven præcis dér, hvor ischiasnerven fra bagbenet sidder fast. Som beskrevet skyldes neuropatiske smerter en form for overaktive nerveceller, og disse er resultatet af en domoeffekt, hvor der frigives særlige

Når smerte bliver til en sygdom

I nogle tilfælde bliver smerten ved på trods af, at vævet er helet og alt tilsyneladende er normalt igen. I de tilfælde kaldes smerten kronisk og kan være stærkt invaliderende. Der findes også tilfælde, hvor smerten først dukker op, længe efter skaden er sket, hvilket alt andet lige gør det svært at koble den til årsagen. Den kroniske smerte har i modsætning til den akutte smerte ikke nogen beskyttende funktion og bliver derfor til en sygdom. Men hvad er så årsagen til disse tilsyneladende formålsløse smerter? Det har vist sig, at beskadigelse af nerver kan lave ravage flere steder i nervesystemet – endda langt fra det sted, hvor skaden er sket.

Lad os tage et eksempel, hvor en person får beskadiget ischiasnerven i benet ved en ulykke, så nerven bliver revet over. Der sker nu forandringer flere steder:

1) Ved skadesstedet opstår der midlertidig betændelse, der ses som ømhed og rødmen. Det skyldes en lokal oprydningssproces, som gendanner væv og nerve. Nogle gange lykkes reparationen, men andre gange kan der dannes et virvar af nervespirer, der ender med at sende forkerte signaler.

2) Umiddelbart uden for rygmarven sidder de såkaldte dorsalrodsganglier, som indeholder cellekroppen af de nerveceller, der er blevet beskadiget i benet. Her ændres den måde, hvorpå hjælpeceller og nerveceller kommunikerer indbyrdes. Det kan med stor sandsynlighed også påvirke signalet i retningen mod hjernen.

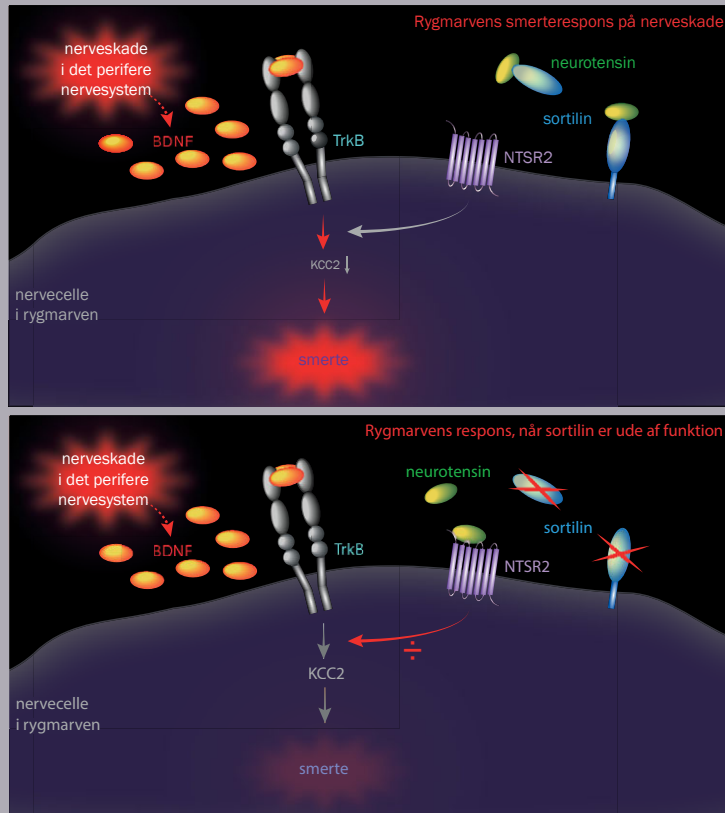
3) I rygmarven går hjælpeceller og immunceller i "selvsving" således, at nervebanerne pludselig signalerer kraftigere, end de plejer, fordi det bliver nemmere at opnå et

Sortilins betydning

Når nervebaner i det perifere nervesystem bliver skadet, bliver der i rygmarven frigivet særlige molekyler (nervevækstfaktor) forkortet BDNF, der står for Brain-derived Neurotrophic Factor. Disse molekyler binder til receptoren TrkB (Tropomyosin receptor kinase B) og sætter en signalkaskade i gang, der resulterer i nedsat forekomst af ionpumpen Kalium-Chlorid Co-transporter 2 (KCC2), som normalt sørger for at opretholde en lav koncentration af chlorid i nervecellerne. Det betyder, at der nu lettere kan opnås et aktionspotentiale i nervecellerne, og det vil vi registrere som et forhøjet smerteniveau.

Denne kaskadeeffekt kan dog bremses af molekylet neurotensin, som binder sig til en receptor (NTSR2 – neurotensinreceptor2) og derigennem påvirker forekomsten af KCC2, så koncentrationen af chlorid forbliver normal, og aktionspotentialer ikke aktiveres ud over det normale. Derved dæmpes smerten.

Det har vist sig, at molekylet sorti-



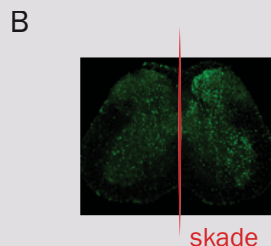
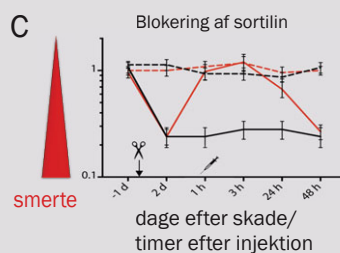
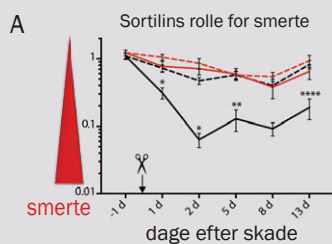
lin (både frit og bundet til cellemembranen) binder neurotensin, hvorved neurotensin forhindres i at binde til NTSR2 – altså bremser sortilin “smertebremsen”.

Når sortilin er sat ud af spillet, kan neurotensinmolekylerne gøre deres smertedæmpende virkning uden forhindringer (nederste figur).

Forsøg

A. Adfærdsstudier viser, at normale mus udvikler smerte efter en nerveskade (sort linje), idet deres smertetærskel aftager (jo lavere smertetærskel, jo mere smerte). Når sortilin mangler, er musen beskyttet mod udvikling af smerte (rød linje). De stiplede sorte og røde linjer viser til sammenligning “smerteniveauet” af henholdsvis uskadede normale mus og uskadede mus, der mangler sortilin.

B. Ved analyse af rygmarvsprøver ses en tydeligt forøget aktivitet af BDNF-udskilende celler (grøn) på den skadede side i forhold til den uskadede side, uanset om musen har sortilin eller ej. Det er de markerede områder af rygmarven, der bruges som vævsprøve til at analysere proteinmængder af for eksempel KCC2.



C. Ved at indsprøjte et stof, der biokemisk forhindrer sortilins funktion, kan smerten lindres ganske betragteligt i normale mus med en skade (rød linje). Til sammenligning

viser den sorte linje smerteniveauet uden injektion af stoffet, og de stiplede sorte og røde linjer viser “smerteniveauet” af normale mus uden skade..

Yderligere læsning:
Joachim Scholz et. al.:
The IASP classification of
chronic pain for ICD-11:
chronic neuropathic
pain. PAIN. 160(1):53-
59, JANUARY 2019

Rolf-Detlef Treede
et.al.: Chronic pain as a
symptom or a disease:
the IASP Classification of
Chronic Pain for the In-
ternational Classification
of Diseases (ICD-11)
PAIN. 160(1):19-27,
JANUARY 2019

Mette Richner et. al.:
Sortilin gates neuroten-
sin and BDNF signaling
to control peripheral neu-
ropathic pain. Science
Advances 19 Jun 2019:
Vol. 5, no. 6, eaav9946

molekyler i rygmarven (kaldet BDNF, der står for Brain-derived Neurotrophic Factor), når ischiasnerven bliver beskadiget. Dominoeffekten kan i princippet bremses lokalt i rygmarven af molekylet neurotensin, men vores forskning har vist, at neurotensinen "fanges" af et andet molekyle, sortilin, så bremsen populært sagt bremses. Men forskningen har samtidig vist, at hvis man sætter sortilin ud af spillet – enten ved at bruge genmodificerede mus, som ikke kan danne sortilin, eller ved biokemisk at sætte sortilin ud af funktion i normale mus – bliver musene ikke ramt af neuropatiske smerter, når de har fået beskadiget deres ischiasnerve.

Fra forskning til behandling

I dag beror smertebehandling af patienter med kroniske smerter næsten udelukkende på symp-

tomdæmpning og har mange bivirkninger, og behandlingen tager ikke nødvendigvis højde for selve årsagen til smerten – simpelthen fordi vi ikke har styr på, hvad der foregår i kroppen.

Identifikationen af et protein som sortilin, der er afgørende for smer-teudvikling og viden om, hvor og hvordan det helt præcist fungerer, er i princippet et rigtig godt udgangspunkt for udvikling af ny be-handling. At nå så langt har været en lang proces. Afklaringen af sor-tilins rolle i neuropatisk smerte har været et projekt, der har været 10 år undervejs i først professor An-ders Nykjærs forskningsgruppe og siden i lektor Christian B. Vægters gruppe på Institut for Biomedicin ved Aarhus Universitet, før det blev publiceret i 2019.

Vi håber nu, at medicinalindustrien

vil gå videre med at undersøge, om det kan lade sig gøre at blokere sor-tilin lokalt i rygmarven, så neuroten-sin kan udøve sin smertedæmpen-de virkning uden begrænsninger. At afklare dette er dog en lang proces. Det er nemlig langt fra altid, at man kan overføre resultater fra dyrefor-søg til mennesker, og det kræver derfor et stort maskineri og mange forsøg at undersøge den samme mekanisme i mennesker. Man skal blandt andet sikre sig, at der ikke opstår bivirkninger, når man påvir-ker proteinet ved for eksempel at blokere dets funktion.

Det kræver kort sagt lang tid og enorme summer penge at udvikle ny medicin, og det er derfor noget, der kan løftes ved involvering af medicinalindustrien. Men vi kan med vores grundforskning bidrage til at lægge grundstenene til frem-tidens medicin. ■



FAKTA

Lars Gejl:
Nordeuropas
fugle. Gylden-
dal 2019. 624
sider, 349,95
kr.

Nordeuropas fugle

Bogen beskriver samtlige ynglefugle og al-mindelige trækfugle samt over 130 sjæld-ne strejffugle. I alt 420 arter illustreret med over 1200 farvefotos, udbredelseskort og QR-koder med 340 fuglestemmer, som kan scannes med smartphone i felten.

Via silhuetter på bogens forsats kan man hurtigt finde en fugls familie eller slægt. Herfra guides man med sidehenvisning til oversigtstavler med de enkelte arter og de vigtigste feltkendetegn samt sidehenvis-ning til den fyldige artbeskrivelse. Rovfugle, vadefugle og måger er desuden sat op i 23 sammenligningstavler, der ud over vigtige feltkendetegn også viser dragtforskelle.

FAKTA

Tjek det fulde program
og læs mere om
konferencen på
hjemmesiden
cphdox.dk.

CPH:DOX

Dokumentarfilmfestivalen CPH:DOX afholdes i dagene 18-29. marts i København. På programmet er også i år en række film og arrangementer under kategorien *Science*. For eksempel handler filmen *The Edge of All We Know* af Peter Galison om sorte huller og forskernes bestræbelser på at forstå dette fascinerende fænomen ud fra observationer og teoretiske overvejelser.

Filmene *Space Cleaners* af Marco Hülser handler om den stigende mængde "rumskrot", som er en udfordring for fremtidige rummissioner. Filmen følger tyske videnskabsfolk, der arbejder på metoder til at få styr på rumskrottet.

Gadehunden Laika – det sovjetiske rumprogram mest berømte hund – bevæger sig ifølge lokale legender stadig gennem Moskvas gader som et spøgelse til evig påmindelse om de systematiske dyreforsøg, der også er en del af fortællingen om menneskehedens vej mod rummet. Filmen *Space Dogs* af Elsa Kremser og Levin Peter er en fortælling baseret på arkivoptagelser fra det russiske rumprogram og poetiske billeder i øjenhøjde med nutidige gadehunde, der i dag huserer i Moskvas gader – Laikas åndelige efterfølgere. Efter filmen er der debat om dyreforsøg og videnska-belige gennembrud med Peter Sandøe (professor i bioetik, KU), Kirsten Rosenmay Jacobsen (dyrlæge og medlem af Rådet for Dyreforsøg) og Kristian Hvidtfelt Nielsen (lektor i videnskabshistorie, Aarhus Universitet).



Nye undervisningsmaterialer

For dig, der underviser, er der inspiration at hente på hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Forløb: genindvinding og genbrug af fosfor fra spildevand

Forløbet bygger på tre temaartikler om fosfor fra nr. 5/2019:

Artiklen *Den globale udfordring* er en oversigtsartikel der belyser problemstillingen at fosfor er en begrænset ressource. Artiklen *Genindvinding af phosphat fra spildevand* er en kemi-artikel, mens *Bakterier fjerner phosphat fra spildevand* er en biologartikkel.

Fag: Bioteknologi A eller Biologi A i samarbejde med kemi B.

I Biologi A kan forløbet bidrage til at dække følgende kernestof og supplerende stof: Økologi: Energistrømme og P-kredsløb, bæredygtighed og miljøbeskyttelse, biologi som videnskabsfag

I Kemi B kan forløbet bidrage til at dække følgende kernestof og supplerende stof: Kemiske formler og reaktionsskemaer, anvendelse af udvalgte uorganiske stoffer, herunder ionforbindelser, ligevægte

og ligevægtsforskydninger, fældningsreaktioner, anvendelse af kemi i den aktuelle debat.

Forløb om biodiversitet og biodiversitetskrise

Dette forløb bygger på 7 artikler fra Aktuel Naturvidenskab. Der er forslag til en lektionsplan på 6 lektioner, der omfatter introduktion til biodiversitet og biodiversitetskrise, gruppearbejde med artikler og fremlæggelse med opponenter samt øvelser i felten. Forudsætninger for forløbet er, at eleverne kender til økologiske grundbegreber.

I Biologi B/A kan forløbet bidrage til at dække følgende kernestof og supplerende stof: Økologi: samspil mellem arter og mellem arter og deres omgivende miljø, bæredygtighed og miljøbeskyttelse, biologi som videnskabsfag.

Forløbene er udarbejdet af Lone Als Egebo, Ege-bøger.

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**, direktør for AIAS (Aarhus Institute of Advanced Studies), Aarhus Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 6.000

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig**, 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
- **Nanna Birk Jensen**, Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

Redaktionen:

Tlf.: 87 15 20 94

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Facebook.com/aktuelnaturvidenskab

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

Omslagsfoto:

En hamplante – også kaldet *Cannabis sativa* L. i laboratoriet. Foto: Lars Duelund.



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

Foldning for viderekommende

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Hvis du også er en af dem, der kan bøvl med at folde et almindeligt lagen ordentligt, så er proteinfoldning nok ikke noget for dig. For det er en opgave, der (i hvert fald på papiret) er uendeligt meget sværere. Men det er lige noget, der passer Frederikke Isa Marin.

»Jeg er dybt fascineret af kompleksiteten i problemet, og hvordan naturen let og elegant løser det i hver eneste celle i vores krop. Og så er det en stor motivation, at det vil være ekstrem brugbar viden, hvis vi kan lure naturen kunsten at folde proteiner af,« siger hun.

Frederikke afsluttede sidste år sit speciale om proteinfoldning ved Biologisk Institut, Københavns Universitet og har siden fortsat sin karriere som ph.d.-studerende på DTU. Jeg møder hende til et symposium for studerende, der har modtaget et scholarstipendium fra enten Novo Nordisk eller Novozymes, hvor sidstnævnte som netop er specialiserede i enzymer.

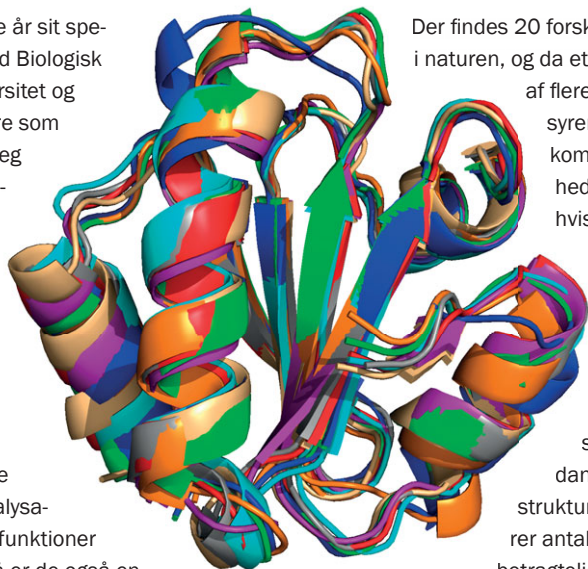
Enzymer er kort fortalt både proteiner og biologiske katalysatorer, der udfører et hav af funktioner i levende organismer. Og så er de også en milliardforretning. De bruges til fremstilling af et utal af produkter, og industrien forsøger konstant at finde nye enzymer i naturen og optimere dem, så de bliver mere effektive eller kan udføre nye, nyttige opgaver.

Hvis man mangler et enzym til at udføre en bestemt opgave, kan man i princippet bygge det selv, ved at sætte en kæde af aminosyrer sammen i den rigtige rækkefølge. Det er bare slet ikke nemt!

En hård opgave – selv for Google

Det svære er ikke at sætte aminosyrer sammen – det svære er at regne ud, hvilke man skal bruge, så enzymet folder sammen til den rette tredimensionelle struktur, som er helt afgørende for dets funktion.

»Det kan gøres eksperimentelt, men det er ekstremt tidskrævende. Derfor er man begyndt at udvikle algoritmer, der kan forudsige strukturen. Men vores forståelse af de regler, der bestemmer proteinfoldning, er langt fra komplet, og beregningsopgaven er selv for en computer meget stor,« siger Frederikke.



Der findes 20 forskellige aminosyrer i naturen, og da et enzym kan bestå af flere hundrede aminosyrer bliver antallet af kombinationsmuligheder astronomisk, hvis man bevidstløst vil prøve alle muligheder igennem. Nu ved man heldigvis en del om, hvilke aminosyresekvenser, der danner visse typer af strukturer, og det reducerer antallet af muligheder betragteligt. Men stadig regnes proteinfoldning som et af de

virkeligt hårde problemer at løse for computeralgoritmer. Så hårdt, at det Googleejede firma DeepMind kastede sig over dette felt, efter det var lykkedes deres program AlphaGo at banke verdensmesteren i brætspillet Go i 2015. Ved den seneste konkurrence for proteinfoldningsprogrammer (ja, der findes sådan en!), var DeepMinds program AlphaFold det bedste til at forudsige, hvordan en given sekvens af aminosyrer ville folde.

Deep learning skal forbedre algoritmer

Der er stadig lang vej, før vi kan sætte computeren til at designe lige netop det enzym, vi står og mangler. Frederikke skal nu arbejde med, hvordan proteinstrukturer kan forudsiges med Deep Learning, og hvordan man kan bruge den vigtige viden om struktur til at forbedre algoritmer, der forudsiger funktionalitet og interaktion mellem proteiner.

»Selvom det måske ikke lige bliver mig, der endegyldigt knækker proteinfoldningens gåde, håber jeg, at min forskning kan bidrage bare lidt til, at man i fremtiden bedre forstår proteiner og på den baggrund blandt andet kan designe enzymer, der kan gøre en masse industrielle produkter både mere effektive og miljøvenlige,« siger hun. ■