

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

A yellow front loader is shown from a low angle, dumping a large pile of light-colored gravel. The loader's bucket is tilted, and the gravel is falling out, creating a dynamic scene. The background is a clear blue sky with some clouds. The loader has large black tires and a yellow body.

HVORNÅR ER DET SLUT MED GRUS?

På grænsen mellem materialer
Periodesystemet 150 år
Matematikere kortlægger menneskets forhistorie

NR. 4 - 2019 SEPTEMBER: 50 KR.

En fælles front for alle bier

Truslerne mod bestøvende insekter bør imødegås af en samlet strategi for både holdte og vilde bestøvere, skriver 22 forskere i denne opfordring til at få gjort noget ved sagen.

Insekter på bilruder og livligt summerende enge er blevet markant sjældnere i de seneste 40-50 år. Videnskabeligt er der også dokumenteret en voldsom og foruroligende historisk tilbagegang af insekter, herunder bier, den vigtigste gruppe af bestøvende insekter. Vi står over for en krise, hvor mangel på bestøvning påvirker både biodiversitet og fødevarer sikkerhed negativt.

Der er brug for handling. Danmark bør have en national bestøver-strategi, det vil sige en samlet national plan for, hvordan man bedst muligt kan hjælpe bestøverne. Mange af vores nabolande har en sådan strategi, en forpligtigelse fra en international aftale, som blev underskrevet i 2016, og som også involverer Danmark (*Coalition of the willing*, <https://promotepollinators.org/coalition-of-the-willing>).

Truet af mangel på levesteder og af gift

En national strategi bør omfatte alle bestøvere, både biavlernes honningbier samt vilde bestøvere. Årsagerne til biernes tilbagegang er først og fremmest tab af naturlige levesteder med redesteder og tilgængelighed af blomster gennem hele sæsonen, samt brugen af agro-kemikalier (gødning, ukrudtsmidler og insektmidler). Disse årsager er fælles for alle bier, både honningbier holdt af biavlere og vilde bier i naturen.

Tabet af naturlige levesteder har især taget fart siden landbrugets intensivering i 1960'erne-1970'erne og skyldes primært ændringer i det dyrkede land: Intensiv dyrkning af agerlandet har ført til reduktion og isolering af småbiotoper med natur i agerland, ændrede dyrkningsformer (færre høslætmarker, færre blomsterrige græsningsmarker, større marker med monokulturer), samt bortdræning af ferskeenge.

Konkurrence er et mindre problem

Desværre bliver diskussionen i Danmark om trusler og tiltag nogle gange overskygget af en debat om, hvorvidt biavlernes honningbier

høster så meget blomsterføde, at andre bier bukker under i konkurrencen. I den internationale forskning anses konkurrence dog som en mindre faktor set i forhold til tab af redesteder og føde, samt giftpåvirkning.

Problemstillingen om konkurrence er meget kompleks. Honningbier hører naturligt til i den danske bifauna, og konkurrence mellem biarter, som deler blomster, forekommer naturligt. Honningbier og andre danske bier adskiller sig dog i nogen grad fra hinanden i hvilke blomster de foretrækker, og hvordan de søger føde, hvilket begrænser mulighederne for konkurrence. For vilde bier, som deler fødegrundlag med honningbier, vil graden af konkurrence afhænge af antallet af bier lokalt relativt til blomsterforekomsten på det givne tidspunkt.

Forskning viser, at effekter af konkurrence klart kan påvises tæt på store bigårde (ofte 30 stader eller flere) og ved mange stader i blomsterfattige landskaber. I Danmark har hovedparten (93 procent) af biavlere under 10 bistader, ofte kun 1-3. Bigårde af denne størrelse er næppe et generelt problem. Antal og placering af bistader bør altid vurderes i forhold til tilgængelighed af blomster, som varierer i landskabet og hen over sæsonen.

En samlet front for bierne

Vi foreslår derfor, at alle aktører (myndigheder såvel som forskningsinstitutioner, interesseorganisationer, kommuner og private virksomheder) samler kræfterne i en inkluderende tilgang, hvor vi fokuserer på tiltag, som gavner alle bestøvere, vilde som holdte, og som imødegår de store trusler.

En national strategi bør især sigte mod at forbedre muligheder for redesteder og føde og minimere påvirkning fra pesticider:

- Skabe flere levesteder for insekter
- Begrænse brugen af ukrudts- og insektmidler, så det ikke skader nytteinsekterne
- Undgå berigning med kvælstof i randområder, f.eks. ved gødningsspild
- Tilbyde et tilstrækkeligt og varieret udbud af blomster ved såning, plantning og pleje, herunder slåning
- Der kan endvidere nogle steder være et behov for at vurdere, hvor mange bifamilier der udsættes og hvornår

En fælles indsats er et vigtigt redskab for, at vi i Danmark kan styrke alle vores bier og de øvrige bestøvende insekter. ■

Synspunktet er en forkortet udgave af en kronik bragt i Politiken lørdag den 24. august 2019.

Forfatterne

Indlægget er skrevet af 22 forfattere, som alle har en videnskabelig baggrund (forskningserfaring og publikationer) i bier, insekter og/eller bestøvningsbiologi. Alle forfattere har eller har haft tilknytning til et dansk universitet. Vurderingerne i dette synspunkt er forfatternes egne og ikke udtryk for organisationernes generelle holdning.

Seniorforsker Yoko L. Dupont, forskningstekniker Henning Bang Madsen, adjunkt Claus Rasmussen, post doc Lise Hansted, seniorforsker Per Kryger, lektor Hans Peter Ravn, professor Inger Kappel Schmidt, professor emeritus Jens Mogens Olesen, forfatter og biolog cand. mag. Eigil Holm, lektor Vibeke Langer, lektor Lene Sigsgaard, professor Jørgen Eilenberg, ph.d. Charlotte Skov, ph.d. Kristin Lassen, ph.d. Erica Juel Ahrenfeldt, projektleder Isabel Calabuig, seniorforsker Niels Holst, seniorforsker Birte Boelt, lektor Annette Bruun Jensen, post doc Antoine Lecocq, post doc Andy G. Howe, professor Mette Termansen.

indhold



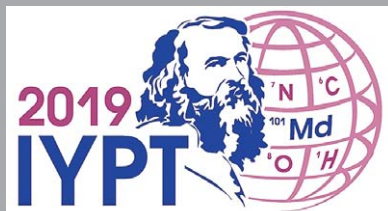
Grus er på verdensplan et eftertragtet råstof, som mange steder er ved at blive en mangelvare. En vurdering er, at vi også i Danmark snart har opbrugt vores grus-ressourcer.

12



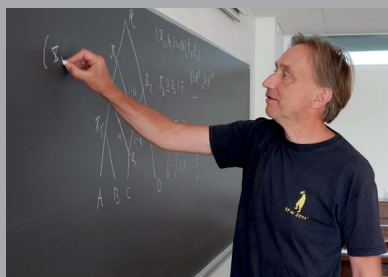
Siden 1960'erne har forskere vidst, at en række bakterier, planter, insekter og fisk rummer særlige antifryseproteiner. I studier af antifryseproteiner fra billen blankplettet tandbuk er det nu for første gang lykket at iagttage, hvordan antifryseproteiner virker.

8



I år kan vi fejre 150-året for periodesystemet (eller det periodiske system) – et af naturvidenskabens få ikoner. At systemet har opnået ikonstatus skyldes blandt andet, at systemet ikke bare handler om grundstofferne, men om hele kemien.

28



Matematikere, statistikere og bioinformatikere fra Københavns- og Aarhus Universitet er i færd med at udvikle de redskaber, som skal gøre DNA-fund endnu mere brugbare i forhold til at kortlægge menneskets forhistorie.

34

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 Kort Nyt
- 7 Nyt glas kan hele sig selv
- 8 Hemmeligheden bag billers frostschild
- 12 Hvornår er det slut med grus i Danmark?
- 16 Kystzonen som filter for næringsstoffer
- 22 På grænsen mellem materialer
- 28 Periodesystemet – 150 års aktuel naturvidenskab
- 34 Matematikere kortlægger menneskets forhistorie

PERSPEKTIV - DEBAT

- 2 SYNSPUNKT:
En fælles front for alle bier
- 41 Bøger & Service
- 44 BAGSIDEN:
Intelligent stavekontrol

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



Narhvaler og hvidhvaler får unger sammen

Et besynderligt hvalkranium har i 30 år samlet støv i magasinet på Statens Naturhistoriske Museum. Nu har et forskerhold fra Københavns Universitet bevist, at der er tale om en krydsning mellem en hvidhval og en narhval.

Det var en grønlandsk fanger, som i 1980'erne nedlagde hvalen og studsede over dens underlige udseende. Han gemte kraniet og gav det nogle år senere til en hvalforsker fra Grønlands Naturinstitut, som indleverede det til Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet.

»Så vidt vi ved, er dette det første og eneste bevis i verden på, at disse to hvalarter parrer sig med hinanden. Man har overvejet det på grund af kraniets udformning, men man har ikke kunnet fastslå det. Det kan vi nu,« siger Eline Lorenzen, DNA-forsker, kurator og leder af studiet, der er publiceret i *Scientific Reports*.

Gennem analyser af DNA og stabile isotoper har forskerne påvist, at kraniet har tilhørt en hanhval, som var en førstegenerations-hybrid mellem en hun-narhval og en han-hvidhval. De analytiske metoder er først blevet mulige de seneste par år. Især tandsættet på kra-



Øverst kranie af narhval og nederst kranie af hvidval. Kraniet i midten er det eneste kendte eksempel på en hybrid mellem de to.
Foto: Mikkel Høegh Post.

niet skiller sig markant ud. Hvor narhvalen har én eller to snoede stødtænder, og hvidhvalen har et sæt af små ensartede tænder i lige rækker, har hybridkraniet et sæt af længere, snoede og spidse tænder med en helt anden vinkel.

»Der er bare et supermærkeligt tandsæt på den her hval. Og vi kan se via isotoperne, at den har haft et helt anderledes fødevalg sammenlignet med både narhvaler og hvidhvaler – muligvis har dens tandsæt påvirket dens måde at leve på,« siger Mikkel Skovrind, ph.d.-studerende og førsteforfatter til forskningsartiklen.

Ifølge forskerne er der ingen tegn på, at narhvaler og hvidhvaler har parret sig inden for de seneste halvanden million år.

»Så det lader til at være noget nyt. Men det skulle undre mig, om vi har fået fat i det eneste eksemplar i hele verden,« siger Eline Lorenzen.

Forskningen er sket i samarbejde med Grønlands Naturinstitut og Department of Anthropology, Trent University i Canada.

Maria Hornbek, Københavns Universitet

Lovende resultater om sårheling

Patienter med diabetes – både type 1 og 2 – har øget risiko for kroniske sår på både underben og fødder.

Det skyldes en kombination af nedsat følesans og et dårligt karomløb, der betyder, at deres sår heler dårligere. Lige nu er behandlingsmulighederne begrænsede, for det er svært både at behandle inflammation og få såret til at hele samtidig. Kroniske sår har behov for hjælp til at fuldføre helingsprocessen, og et samarbejde mellem forskere fra Roskilde Universitet og University of Coimbra i Portugal har nu ført til lovende resultater. Disse resultater kan måske på længere sigt føre til, at man kan få vævet til at hele bedre selv.

Resultaterne er for nylig blevet præsenteret i en ny forskningsartikel om sårheling i det

videnskabelige tidsskrift *Scientific Reports*, hvor to af forskerne bag er professor Louise Torp Dalgaard og postdoc Anja Elaine Sørensen fra Roskilde Universitet.

Anja Elaine Sørensen og hendes forskningsgruppe har undersøgt mus med diabetes, og de har fundet ud af, at hudens indhold af små RNA-molekyler er markant ændret ved diabetes hos de undersøgte mus. Forskerne har opdaget, at man ved at nedsætte aktiviteten af et af disse RNA-molekyler – kaldet mikroRNA-155 – kan fremme sårhelingen hos musene markant. Det giver både en hurtigere heling og mindre inflammation.

I første omgang har forskerne påvist en effekt på diabetiske mus, og håbet er, at man kan opnå en lignende positiv effekt på

mennesker. Det er noget af det, der skal undersøges i fremtiden.

»I vores forskning har vi foreløbigt vist, at hæmning af blot ét mikroRNA har en meget positiv effekt på sårheling hos diabetiske mus. Vores næste skridt er at undersøge, om sårhelingen kan forbedres yderligere ved at hæmme flere forskellige mikroRNA på samme tid,« fortæller Louise Torp Dalgaard.

Udover University of Coimbra har forskere fra Syddansk Universitet også bidraget til studiet. Anja Elaine Sørensens postdoc-forløb er finansieret af Danish Diabetes Academy.

RUC Kommunikation & Presse

Mutation gør giftige mandler spiselige

Det har været en gåde i flere tusind år, hvorfor nogle mandler er søde, spiselige og sunde, mens andre er bitre og så giftige, at man kan dø af dem efter at have spist bare en lille håndfuld.

Men nu har et forskerhold med professor Birger Lindberg Møller og lektor Raquel Sanchez Perez fra Institut for Plante og Miljøvidenskab på Københavns Universitet i spidsen, løst gåden. Det har krævet mere end 12 års intens forskning. Og svaret er ret forbløffende.

Det er et enkelt gen – ud af i alt 28.000 gener i mandlen – som afgør, om et mandeltræ bærer søde eller bitre nødder. Forskerne fandt ud af, at det pågældende gen har mistet sin oprindelige funktion. Det er sket gennem naturlig mutation, så de ellers bitre mandler bliver søde og de enzymer, som



Foto: Colourbox.

ellers producerer det bitre, giftige stof ikke bliver dannet, når der er "kuk i nødden".

Opdagelsen er ikke kun til glæde for spisere af de sunde, søde mandler. Det vil også få stor betydning for produktionen af mandler, som slider kraftigt på miljøet. Ikke mindst, fordi de bruger enorme mængder vand. Med kendskab til den afgørende mutation, vil man allerede, når en mandel spirer, kunne

afgøre, om den bliver til et mandeltræ med søde eller bitre mandler. I dag kan det først afgøres efter tre-fire år, når træet sætter blomster og dermed bærer frugter første gang. Med den nye opdagelse kan mandelavlaren undgå at udplante træer, der efter nogle år skal fjernes igen og har brugt meget vand under opvæksten.

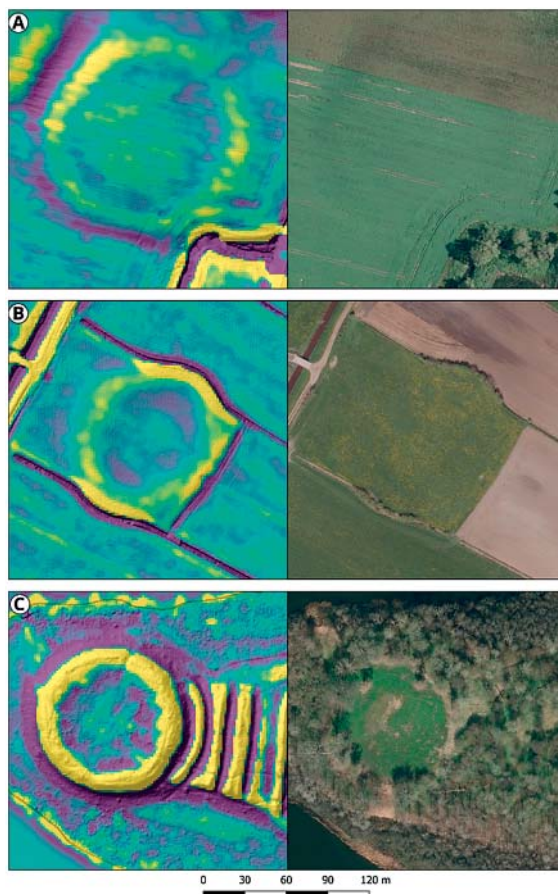
Ligeledes vil forskernes resultater kunne bidrage til udvikling af mere robuste mandeltræer. Verdens mandelhøst er udfordret af klimaforandringerne, der giver længere tørkeperioder og sen forårsfrost. Begge dele sænker høstudbyttet væsentligt, og derfor er udvikling af mere tørketolerante sorter med senere blomstringstid af stor betydning.

De epokegørende forskningsresultater er offentliggjort i tidsskriftet *Science*.

Svend Thaning, Københavns Universitet.

Nye bud på mulige ringborge

Gemmer der sig flere ringborge i Danmark fra Vikingetiden end de fem, man hidtil har opdaget, og som er blevet opført på Harald Blåtands tid omkring 970-980'erne? Dette spørgsmål har tre forskere fra Aarhus Universitet og Moesgaard Museum, David Stott, Søren Munch Kristiansen og Søren Michael Sindbæk, angrebet ved at bruge maskinlæringsteknikker på data fra laserscanninger af jordoverfladen fra fly. I første omgang identificerede de flere end 200.000 ringformede strukturer i landskabet, som efterfølgende i en "finde nålen i høstakken-proces" blev reduceret til 199 mulige kandidater ud fra deres geometriske egenskaber og ved at bruge maskinlæring til at klassificere den kulturelle og topografiske kontekst, som strukturerne indgik i. To af disse næsten perfekt cirkelrunde strukturer – Borgø på Lolland lidt syd for Maribo og Trælbanke i Sønderjylland nord for Højer – har vist sig så lovende, at de ifølge forskerne som de første bør underkastes nærmere arkæologiske undersøgelser for at afgøre,



om de vitterlig gemmer på rester af 1000 år gamle vikingeborge.

Begge steder er allerede kendte arkæologiske lokaliteter, idet der er fundet rester af volde her, som hidtil er dateret til enten før eller efter vikingetiden. På Borgø har der således i middelalderen ligget en borg, Refshaleborg – men måske har denne været opført på resterne af en vikingeringbord, spekulerer forskerne.

Forskerne skriver, at deres automatiserede metode kan bruges overalt hvor der er digitale terrænmodeller til rådighed til at lede efter såvel kulturarvslokaliteter som specifikke naturskabte strukturer som nedslagskratere fra meteoritter.

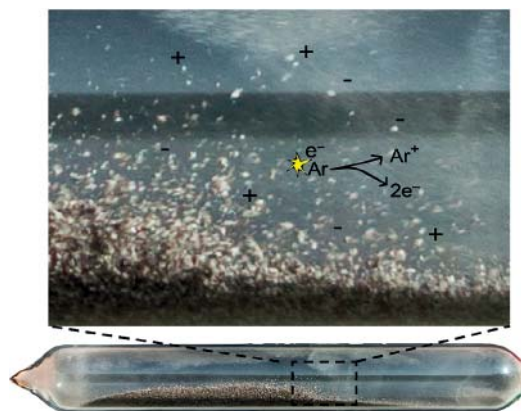
CRK, Kilde: *Remote Sens.* 2019, 11(16), 1881

Øverst ses Borgø uden for Køge, der i 2014 blev bekræftet som værende en ringborg fra vikingetiden. Nedenfor ses henholdsvis Trælbanke og Borgø. I forskernes automatiserede undersøgelse udpeges de alle tre som kandidater til ringborge af "Trelleborg-typen". Illustration fra Stott et al, *Remote Sensing*.

Sådan kan metan forsvinde på Mars

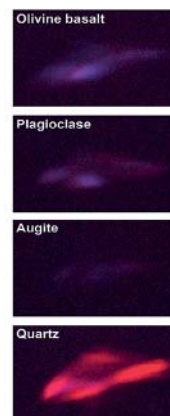
Det vakte stor interesse, da man for cirka 15 år siden for første gang kunne påvise metan i Mars' atmosfære. Metan betragtes nemlig som en bio-signatur – et muligt tegn på biologisk aktivitet på Mars. I de efterfølgende år har man i videnskabelige artikler kunne læse om nye målinger, der skiftevis bekræftede tilstedeværelsen af metan eller fraværet af det. En variation, som har sået tvivl om rigtigheden af de første metanmålinger. Nyere målinger af metan i Mars' atmosfære har dog vist, at variationen er helt reel – koncentrationen af metan på Mars svinger op og ned.

Endnu har man hverken identificeret kilden til metan eller den mekanisme, der hurtigt fjerner det fra atmosfæren igen. Især det sidste har manglet en plausibel mekanistisk forklaring, idet den mest oplagt mekanisme – fotokemisk nedbrydning af metan forårsaget af UV-stråling – ikke virker hurtigt nok til at forklare dynamikken.



Kvartsampullen indeholder partikler af olivin-basalt og en Marslignende atmosfære. Ved at ryste ampullen simulerer forskerne vindskabt saltation, dvs. at vinden får sandkornene til at foretage korte hop henover overfladen. Partiklernes friktion skaber elektriske ladninger, og den gule stjerne illustrerer, at et argon-atom har mistet en elektron. De små elektriske ladninger får partiklerne til at gløde svagt, som illustreret i de fire billeder til højre.

Grafik: Mars Simulation Laboratory, AU



des til dem. Forskerholdet har vist, at kulstofatomet i den ioniserede metan direkte bindes til siliciumatomet i plagioklas. Ved hjælp af denne mekanisme, der er meget mere effektivt end fotokemiske processer, vil metan kunne fjernes fra atmosfæren inden for den observerede tid for derefter at blive deponeret i Marsjorden.

Forskergruppen har desuden vist, at disse mineraloverflader kan føre til dannelse af reaktive kemikalier som brintoverilte og iltradikaler, som er meget giftige for levende organismer. Resultaterne har dermed

betydning for vurdering af mulighed for liv på eller tæt på Mars' overflade. Forskerne vil nu undersøge, hvad der videre sker med det bundne metan, og om erosionsprocessen foruden gasserne i atmosfære også ændrer eller ligefrem helt fjerner mere komplekst organisk materiale, som enten kan stamme fra Mars selv eller er kommet til Mars som del af meteoritter.

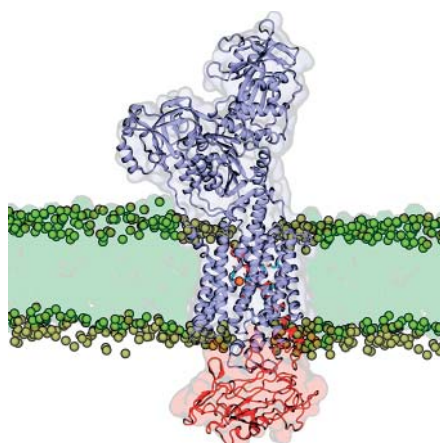
CRK, Kilde: Scitech.au.dk/

Icarus, Vol. 332, 1 November 2019, PP 14-18

Men nu har en gruppe forskere fra Aarhus Universitet i en afhandling i det videnskabelige tidsskrift *Icarus* præsenteret en mulig forklaring på, hvordan metan kan forsvinde så hurtigt. Forskerne har i laboratoriet simuleret vindrevet erosion på Mars' overflade, og de har vist, at mineraler som plagioklas, der er vidt udbredt på Mars' overflade, kan oxideres, og gasser som metan ioniseres under erosionsprocesserne. Og den ioniserede metan kan reagere med mineraloverfladerne og bin-

Syrepumpe under lup

At miljøet i vores mave er meget surere end i resten af kroppen, bliver vi mindet om, når vi en gang imellem får mavesyre op i spiserøret i et "surt opstød". Ph-værdien i vores mavesæk er på cirka 1, mens den i resten af kroppen er cirka 7 – hvilket svarer til, at syrekonzentrationen er cirka en million gange højere i maven end i resten af kroppen. Det er et lille protein kaldet den gastriske protonpumpe (H^+, K^+ -ATPase), der sørger for at opretholde syreniveauet i mavesækken ved at pumpe protoner (H^+) ind i mavesækken og kaliumioner (K^+) ud under forbrug af det energirige molekyle ATP. Præcis hvordan disse små pumper arbejder er et spørgsmål, der har optaget forskere de seneste 40 år. For den repræsenterer en af de allermest krævende former for ion-transport gennem membraner, der finder sted i pattedyr-væv.



Strukturen af syrepumpen, som sidder i cellemembranen (grøn). En kalium-ion (orange) er på vej gennem proteinet fra den røde side, og når den er kommet gennem membranen, vil en proton rejse den modsatte vej. Illustration: Vikas Dubey

Nu har forskere fra Danmark og Japan givet et svar i det videnskabelige tidsskrift *eLife*,

hvor det danske islæt er lektor Himanshu Khandelia fra Institut for Fysik, Kemi og Farmaci ved SDU. Ved hjælp af krystallografi kunne de japanske forskere skabe et billede af de syrepumpende proteins atomare struktur, og på basis af disse billeder og af biokemiske eksperimenter, kunne Himanshu Khandelia via computersimulationer fastslå, hvordan de små syrepumpende proteiner arbejder. Undersøgelserne viste blandt andet, at pumperne udveksler netop en proton og en kalium-ion for hvert ATP-molekyle, der forbruges.

Resultaterne kan på længere sigt få betydning for udvikling af ny medicin mod sygdomme, som har med fordøjelsen at gøre. Kortlægningen af de små pumpearbejdsbyrde og detaljerede funktionsmåde er blandt andet finansieret af Lundbeckfonden.

CRK, Kilder: *eLife* 2019;8:e47701.

Nyt glas kan hele sig selv

Med en ny type glas kan revner i smartphonen, ridser i brillerne og stenslag i bilruden snart være fortid. Den nye glastype, som kan hele sig selv, og som har en rekordhøj brudmodstand, er netop blevet udviklet af forskere på Aalborg Universitet (AAU). Resultatet er et stort gennembrud og et meget opsigtsvækkende resultat inden for glasforskningen og kan vise sig at skabe helt nye muligheder for glassets anvendelse.

» Selvom man i hverdagen ikke tænker over det, er glas faktisk ikke særligt glad for vand, især når det kommer til revnedannelse. De fleste af os har formentligt prøvet at få et stenslag i bilruden. Hvad der til at starte med blot ser ud som et lille mærke, kan med tiden udvikle sig til en langsomt voksende revne. Det er netop vandmolekylerne fra den fugtige luft, der nedbryder glassets netværk og får revnen til at vokse,« siger Kacper Januchta, der er ph.d.-studerende ved Institut for Kemi og Biovidenskab på AAU.



Et stykke af det nye, selvhelende glas.
Foto: Kacper Januchta

I modsætning til almindeligt glas har den nyudviklede glastype fra AAU den særlige egenskab, at vand har en positiv effekt på

materialets brudmodstand, idet aftryk og ridser i overfladen ikke vokser, men derimod bliver mindre over tid.

»Vi har fået helt ny indsigt i de mekanismer, der har betydning for revnedannelse i glas og dermed også, hvordan det kan undgås. De næste skridt er nu at implementere nogle af de samme mekanismer i glasprodukter, der allerede eksisterer på markedet,« siger Morten Mattrup Smedskjær, der er professor MSO på AAU og leder af forskningsprojektet.

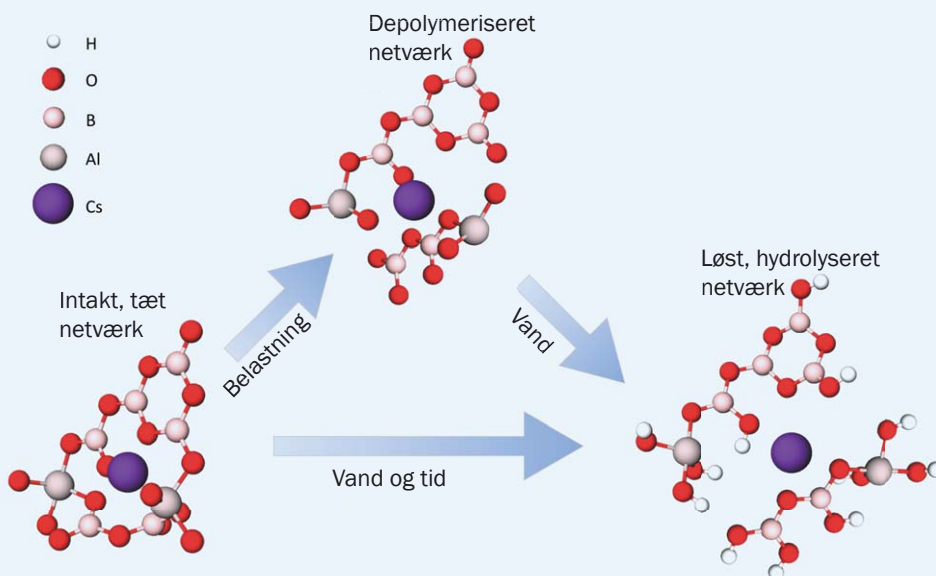
Hvis glassets skrøbelighed kan mindskes markant som følge af det nye gennembrud, vil det for eksempel kunne åbne op for markant tyndere glas i vinduer og bilruder. Da glasmaterialer fremstilles ved meget høje temperaturer, er der store muligheder for energi- og CO₂-besparelser, når der skal produceres og transporteres mindre glas.

Camilla Kristensen, Aalborg Universitet

Sådan heler glasset sig selv

Figuren viser, hvordan forskerne forestiller sig den selvhelende mekanisme i deres nye glas på molekylær skala. Grundlæggende skyldes det, at glasset er stærkt reaktivt med vand (man siger, at det er hygroskopisk). Glassets bestanddele er Cs₂O, Al₂O₃ og B₂O₃ bygget op i et tætpakket netværk.

Når glasset bliver udsat for en belastning, må atomerne flytte sig, hvilket fører til, at det tætte netværk lokalt brydes op. Som resultat opstår der "løse ender" i form af oxygenatomer, der stabiliseres af både cæsium- og aluminium-atomerne. Denne deformerede struktur er mere sårbar overfor angreb af vand, som trænger ind i glasset og reagerer med (hydrolyserer) de svækkede dele af det molekulære netværk. Når vand således optages i glassets molekulære netværk, medfører det en forøgelse af netværkets volumen. Det kommer til udtryk i den effekt, man kan observere på



makroskopisk niveau: Hvis der opstår en revne i glasset, kan glas materialet udvide sig ind i revnen og lukke den til.

Illustration fra: Januchta, K. et al: Breaking the Limit of Micro-Ductility in Oxide Glasses. Adv. Sci. 2019, 1901281.

HEMMELIGHEDEN BAG BILLERS FROSTSKJOLD

Siden 1960'erne har forskere vidst, at en række bakterier, planter, insekter og fisk rummer særlige antifryseproteiner. I studier af antifryseproteiner fra den skandinaviske bille blankplettet tandbuk er det nu for første gang lykket at iagttage, hvordan antifryseproteiner virker, når de binder sig til overfladen af is.

Hans Ramløv ligner en af den slags zoologer, der er født med gummistøvler på. Det khakifarvede tøj går næsten i ét med den massive ophobning af brune flyttekasser, der optager så godt som al gulvplads i hans lille kontor på Roskilde Universitet. Bøger, udstoppede dyr og krøllede forskningsartikler er også med i kampen om den sparsomme plads, og det er som om, at rummet kun modvilligt efterlader en plads til forskeren selv.

Hans Ramløv er professor i sammenlignende dyrefysiologi på RUC og internationalt anerkendt for sin forskning i antifryseproteiner. I flyttekasserne på kontoret ligger resultaterne af næsten 30 års forskning i området og venter på at blive pakket ud, når de sædvanlige laboratorier og kontorer står færdigrenoverede til foråret.

Varme fisk i koldt vand

Mange af de centrale spørgsmål om antifryseproteiner, som Hans Ramløv har brugt sin karriere på at besvare, dukker bogstaveligt talt op til overfladen i 1950'erne. Her kommer polarforskere langs den canadiske nordkyst på overarbejde, da de finder polartorsk i sprækker i isen, hvor torsken ikke burde være. For torskens blod fryser ved -1°C , og havet omkring sprækkerne bliver målt til $-1,9^{\circ}\text{C}$. Forskerne undrer



Billen blankplettet tandbuk (*rhagium mordax*) indeholder et hyperaktivt antifryseprotein, der beskytter mod temperaturer helt ned til -10°C . Foto: Thorbjørn Ramløv

sig: Fiskene burde være frosne, men er umiskendeligt helt levende.

Noget af gåden bliver løst, efter den amerikanske forsker Arthur DeVries i midten af 1960'erne begynder sine studier på forskningsstationen McMurdo i Antarktis. Her observerer han, at også ved sydpolen kan nogle fisk tåle lavere temperaturer end forventet. Hvorfor kan fisk tilsyneladende svømme underafkølede rundt i vand fyldt af små iskrystaller, som ryger indenbords sammen med havvand?

Svaret kommer først i 1969, da det lykkes Arthur DeVries at isolere proteiner i fisk, der hæmmer væksten af små iskrystaller. I dag har forskere fundet antifryseproteiner i alt fra ark-tiske bakterier til danske ålekvabber.

Selvom antifryseproteinerne er

strukturelt forskellige fra organisme til organisme, er funktionen altid at hæmme væksten af små iskrystaller. Det giver organismer mulighed for at overleve temperaturer, der er adskillige grader lavere end deres kropsvæskers frysepunkt. I de seneste år har hyperaktive antifryseproteiner fundet i insekter fået stor interesse i forskningen, for insekternes antifryseproteiner har vist sig at kunne sænke organismens frysepunkt helt op til 7°C .

Forskning på tværs af kontinenter og fagdiscipliner

Opdagelsen af antifryseproteiner satte tidligt gang i spekulationer om, proteinerne måske rummede opskriften på en nedfrosset dvaletilstand, der en gang i fremtiden kan sikre håbefulde sjæle genoplivning fra et langt ophold i flydende nitrogen.

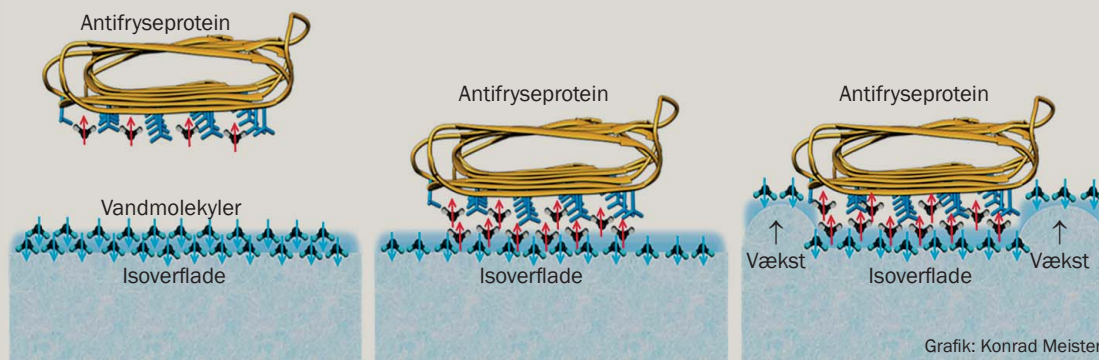


Om forskeren
Hans Ramløv er professor ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet. hr@ruc.dk



Forfatteren
Torben Jarl Jørgensen er kommunikationsmedarbejder ved Institut for Naturvidenskab og Miljø, Roskilde Universitet. toj@ruc.dk

Sådan vinder blankplettet tandbuk over isen



Antifryseproteinet i blankplettet tandbuk kan beskrives som en slags potent magnet, der kan tage kontrollen over, hvordan vandmolekyler orienterer sig på iskrystallens overflade. Hvis vandmolekylerne orienterer sig i én retning, binder de sig til iskrystallen, så der lægges et lag af vandmolekyler til overfladen, og iskrystallen vokser. Hvis vandmolekylerne derimod tvinges til at orientere sig i den modsatte retning, kan de ikke binde sig til isoverfladen. Allerede inden antifryseproteinet rammer isoverfladen har det struktureret en del vandmolekyler omkring sig. Når antifryseproteinet binder sig til en iskrystal, tvinger det yderligere en del af de vandmolekyler, der allerede er bundet i isen, til at binde sig til antifryseproteinet, hvorved antifryseproteinet bindes til isoverfladen, samtidigt med at andre vandmolekyler ikke kan sætte sig mellem antifryseproteinet og isoverfladen. På denne måde standses isvæksten, der hvor antifryseproteinet er bundet til isoverfladen.

Den side af antifryseproteinerne, der binder sig til isen, har oftest en flad struktur. Denne side af antifryseproteinet er hydrofob – det vil sige vandskyende – og har ingen ladede områder. Antifryseproteinet fra Blankplettet

Tandbuk har toppe og dale langs den isbindende side. På toppene er vandmolekylerne orienteret, så antifryseproteinet kan binde sig til isoverfladen. I virkeligheden er der tale om en dynamisk situation, hvor vandmolekylerne i isoverfladen under antifryseproteinet hele tiden delvist er bundet til isoverfladen og delvist til proteinet. Derved er proteinet bundet til isoverfladen. I dalene tvinges vandmolekylerne derimod til at binde sig til antifryseproteinet. På grund af antifryseproteinet's struktur og den måde, hvorpå vandmolekylerne orienterer sig på i dalene, kan der ikke sætte sig yderligere vandmolekyler i området mellem proteinet og isoverfladen. Der kan derfor ikke dannes et vækstlag af vandmolekyler, som skubber antifryseproteinet udad. Derved er isvæksten blokeret der, hvor antifryseproteinerne er bundet til isoverfladen. Isen kan vokse mellem antifryseproteinerne, men den vokser som små hvælvinger. Den hvælvede overflade betyder, at vanddamptrykket inde i isen stiger jo mere hvælvet, isen bliver. Hvis vanddamptrykket er det samme som vanddamptrykket i den flydende væske omkring isen, standser isvæksten. På den måde kan dyr som blankplettet tandbuk overleve med ganske små, men vækstblokerede, iskrystaller i blodet.

Tanken om såkaldt kryopræserving får med jævne mellemrum telefonen til at ringe kontoret. Håbefulde borgere og journalister på jagt efter evigheden vil vide, hvor langt forskningen er kommet. Hans Ramløv må altid skuffe og svare, at han overlader jagten på det evige liv til andre. For i næsten et helt forskerliv har professoren været optaget af det mere jordnære spørgsmål: Hvordan virker et antifryseprotein helt præcist?

Indtil for nyligt er det hverken lykket at forklare eller observere, hvad der eksakt sker, når antifryseproteiner binder sig til iskrystallerne og hæmmer isvækst. Det ændrede Hans Ramløv og en tværfaglig gruppe af internationale forskere på, da

de i april 2019 præsenterede et forskningsgennembrud i Tidsskriftet *Journal of Chemical Physics*.

»Dyrefysiologer, fysikere og biologer har arbejdet tæt sammen med eksperter i computersimulationer. Tværfaglighed åbner nye døre, og det her havde aldrig kunnet lade sig gøre, hvis der ikke var så mange fagligheder i spil. For mit vedkommende er de fælles resultater kulminationen på næsten 30 års arbejde.«

Alt andet end kølervæske

Hans Ramløv ved godt, at det er kompliceret stof, han formidler. Kort fortalt starter det hele med billen Blankplettet Tandbuk, der bor i barken på løvtræer i Danmark og resten

af Skandinavien. Rejsen fortsætter i RUC's laboratorier, når billens antifryseprotein skal oprenses for siden at ende i et af verdens mest avancerede islaboratorier på Max Planck Institutet i Mainz, Tyskland.

På Max Planck Institutet for polymerforskning har forskere med professor Konrad Meister i spidsen udviklet en teknik, der sender en laserstråle mod en isoverflade, så det for første gang er muligt at observere direkte, hvordan organiske molekyler binder sig til krystaloverfladen.

Forskningen i antifryseproteiner er Hans Ramløvs hjertebar, og han svarer gerne på spørgsmål af alle slags. Men ét ord vil han gerne und-

Videre læsning:
Konrad Meister, C.J. Moll, S. Chakraborty, B. Jana, Arthur DeVries, Hans Ramløv, H.J. Baker: *Molecular structure of a hyperactive antifreeze protein adsorbed to ice*. The Journal of Chemical Physics 150, 131101 (2019). doi.org/10.1063/1.5090589

gå: Kølervæske. For selv om både antifryseproteiner og kølervæske i sidste ende sænker frysepunktet, er vejen dertil helt forskellig.

Uheldigvis har flere populærvideenskabelige magasiner netop dristet sig til at skrive, at de små biller indeholder en naturlig kølervæske, der gør, at de kan modstå lave temperaturer uden at gå til grunde. Det irriterer professoren.

Genkender isoverfladen

Når bilister hælder kølervæske på bilen, sker en simpel kemisk proces. Effekten hænger helt sammen med antallet af molekyler af kølervæske, der bliver blandet i vandet. Uanset om kølervæsken er en sukker-, salt-eller alkoholopløsning, vil det tilsatte stof forstyrre vandmolekylerne så meget, at det sænker smeltepunktet i opløsningen. Dermed bliver det sværere at danne is.

»Med antifryseproteiner fungerer det helt anderledes. De nedsætter ikke bare smeltepunktet. Antifryseproteinerne har faktisk en interaktion med isen. De hér proteiner kan genkende isoverflader, binde sig til dem og dermed hæmme væksten af isen. Det vil ultimativt også sige, at antifryseproteiner kun fungerer, hvis der er en lille smule is til stede,« forklarer Hans Ramløv.

Hans Ramløv trommer begejstret i bordet med en kuglepen og tillader sig selv en velfortjent indånding. Begejstringen er til at forstå. For det er mere end 25 års undren og arbejde, der har ledt frem til, at det for første gang er eksperimentelt muligt at observere, hvordan et antifryseprotein binder sig til en isoverflade.

Antifryseprotein er en magnet

I mange år op til gennembruddet er det antagelsen, at antifryseproteinets hemmelighed er, at det kan påvirke det semiflydende lag i overgangen mellem vand og is ved på en ukendt måde at organisere vandmolekylerne. Laserekspimentet på Max Planck Institutet i Mainz afslører imidlertid, at antifryseproteiner nærmere kan

beskrives som en slags magnet, som kan binde eksisterende vandmolekyler både i vandet og i isen og organisere dem på en ny måde uafhængigt af de andre vandmolekyler i opløsningen.

Det overrasker forskerne. For pludseligt står det klart, at antifryseproteinerne er så potente, fordi de kan tage kontrollen over, hvordan vandmolekyler orienterer sig på iskrystallens overflade.

»Hvis vandmolekylerne orienterer sig i én retning, binder de sig til iskrystallen, så der lægges et lag af vandmolekyler til overfladen, og iskrystallen vokser.«

Hvis vandmolekylerne derimod tvinges til at orientere sig i den modsatte retning, kan de ikke binde sig til isoverfladen. Det er antifryseproteinets simple vinderstrategi: For når antifryseproteinet binder sig til en iskrystal, tvinger det helt basalt vandmolekylerne til at binde sig til antifryseproteinet, og så går iskrystallens vækst i stå.

Næste skridt er masseproduktion

Hans Ramløvs primære fokus ligger på den grundvidenskabelige forskning, men han er ikke tvivl om, at det kommercielle potentiale ligger lige for:

»Hvis vi vil fremstille antifryseproteiner kunstigt, er det væsentlig at forstå, hvad for nogle molekyllære strukturer, der er bestemmende for, om noget binder sig stærkt eller svagt til overfladen af is. For så kan vi ændre strukturen i proteinmolekylet eller måske lave noget med samme strukturer, som slet ikke er proteiner.«

I laboratorierne på Roskilde Universitet har Hans Ramløv i samarbejde med kolleger fra Institut for Naturvidenskab og Miljø sat genetisk materiale fra antifryseproteiner ind i gensplejede *E.coli*-bakterier, som dermed kommer til at fungere som en slags fabrik til fremstilling af antifryseprotein. I øjeblikket kun til videre brug i forskning.

»På nuværende tidspunkt kan vi ikke fremstille antifryseprotein i store mængder. Det er faktisk en af de største udfordringer i forhold til anvendelse af insekt-antifryseproteiner. Så næste skridt er at knække koden for masseproduktion, for før bliver dette ikke interessant i en kommerciel sammenhæng.«

Allerede i cremet flødeis

Andre antifryseproteiner anvendes allerede i fødevarerindustrien. Blandt andet af fødevaregiganten Unilever, der tilsætter antifryseprotein under produktionen af flødeis. Det sikrer, at flødeisen er delikat og cremet, selvom isen tidligere har været tøet en smule op.

Antifryseproteinerne anvendt i blandt andet flødeis er gensplejset fra fisk, og disse antifryseproteiner har kun effekt ned til -3 °C. Andledes ser det ud med det hyperaktive antifryseprotein fra blankpletet tandbuk, der har været under laseren på Max Planck Institutet. Det beskytter mod temperaturer helt ned til -10 °C.

Fly og møllevinger uden is

Kunstigt fremstillede antifryseproteiner åbner også for helt nye metoder til at bekæmpe is i for eksempel fly- og vindmølleindustrien, hvor isdannelse kan være fatalt. Her er ambitionen at gøre overflader afvisende over for is ved at binde antifryseproteinerne i en væske, der kan lakeres eller sprøjtes direkte på fly- og møllevinger. Det kan betyde færre aflyste fly i vinterkulden, og vindmøller opstillet i arktiske områder, hvor is og kulde i dag umuliggør møller.

»Jeg tror, vindmølleindustrien tager telefonen, hvis vi en dag ringer og siger, at vi har teknologien, der kan forhindre rimfrost og isslag på møllerne. For begge dele gør vingerne mere tunge og mindre effektive. Isslag kan i værste fald betyde, at møllerne ryster sig selv i stykker, fordi isen skaber en helt anden aerodynamik. Hvis vi kan binde molekyler med antifryseprotein på møllerne, har vi måske løst problemet. For isen vil formentligt blæse af, når vingerne kører rundt.« ■

LÆS FYSIK PÅ AAU

SE MERE PÅ SCIENCE.AAU.DK

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

MATHIAS HEDEGAARD KRISTENSEN, KANDIDAT I FYSIK

MAKE IT REAL PÅ AAU

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



AALBORG UNIVERSITET
AALBORG ESBJERG KØBENHAVN

HVORNÅR ER DET SLUT MED GRUS I DANMARK?

Om forfatterne



Gunnar Larsen er geolog i NIRAS og arbejder som projektleder med råstoffer og grundvand, bl.a. med råstokortlægning, råstofplaner og strategiske vurderinger, miljøvurderinger samt sagbehandling af råstofansøgninger. gla@niras.dk.



Charlotte Greve er geolog i NIRAS og arbejder med råstoffer som projektleder og faglig medarbejder, bl.a. råstokortlægning, miljøvurderinger og sagbehandling af råstofansøgninger. chg@niras.dk



Morten Wismann Halkjær er økonom i NIRAS afdeling 'Bæredygtighed, Ressourcer og Cirkulær Økonomi', hvor han arbejder på tværfaglige analyseopgaver relateret til miljø- og energiområdet. halk@niras.dk

Grus er på verdensplan et eftertragtet råstof, som mange steder er ved at blive en mangelvare. En vurdering er, at vi også i Danmark snart har opbrugt vores grus-ressourcer. Vi ser her på, hvad regnestykket kan være lige nu.

Foto: Colourbox

Danmark er selvforsynende med det mineralråstof, der kaldes sand, grus og sten. Det bruges til bygge- og anlægsformål, det vil sige til cement og beton, opbygning af veje og meget mere. Det hentes fra grusgrave og fra havbunden og kaldes derfor ofte bare for grus. Da gruset er en naturgivet, ikke-fornybar ressource, er det oplagt at se på, om Danmark vil løbe tør for dette samfundsmæssige uundværlige råstof, så vi skal til at importere det til dyre penge fra et verdensmarked, der sandsynligvis også løber tør på et tidspunkt.

Hvor findes der grus?

Sand, grus og sten er i Danmark altovervejende aflejret i smeltvandsfloder foran gletsjere under istiderne for 2,5 millioner–11.500 år siden. Materialerne er af floderne blevet slebet og sorteret og til slut aflejret i tykke lag, der over ganske få meter kan variere i kornstørrelse, kornform og mineralindhold. Desuden har gletsjerne foldet lagene

og skubbet dem sammen i flager og har ofte aflejret lag af moræner ovenpå råstoflagene, hvilket i grusgravstermer også kaldes overjord. Derfor kan kvaliteten af sand, grus og sten, der skal indvindes på landjorden, ændre sig både vandret og lodret indenfor få meter, så det kan være vanskeligt at beregne forekomstens eksakte kvalitet over et større område. For sand, grus og sten, der indvindes på havbunden i de danske farvande, er det havstrømme, der har sorteret materialerne i forskellige kvaliteter.

Den danske grusproduktion

Den samlede danske indvinding af sand, grus og sten har i de seneste cirka 60 år varieret mellem 20 og 35 millioner m³ per år til bygge- og anlægsformål. Heraf kommer cirka 90 % fra land og 10 % fra havet. Dette forhold har været ret stabilt i mange år med kun få procents udsving. Omtrent 76 % bruges i dag til vejformål og 24 % til byggeformål.

Værdien af sand, grus og sten ind-

vundet på landjorden er defineret af en lang række faktorer. Væsentligt er tykkelsen af råstoflaget og kvaliteten af råstoffet målt i forhold til en række standarder i Danmark og EU for beton- og vejmaterialer. Tykkelsen af overjord betyder en del for værdien af det underliggende råstoflag, da det er dyrt og tidskrævende at fjerne overjorden og lægge den på igen efter endt indvinding. Råstoflagets dybde under jordoverfladen har også betydning, da dybere indvinding kræver mere avanceret indvindingsgrej. I dag kan der indvindes til cirka 60 meter under jordoverfladen. Om råstoffet ligger over eller under grundvandsspejlet betyder noget for indvindingsomkostningerne, det vil sige, om man indvinder med gummiged over vand, eller man bruger suger, slæbeskovl eller spandgraver i en sø.

Konkurrence om pladsen

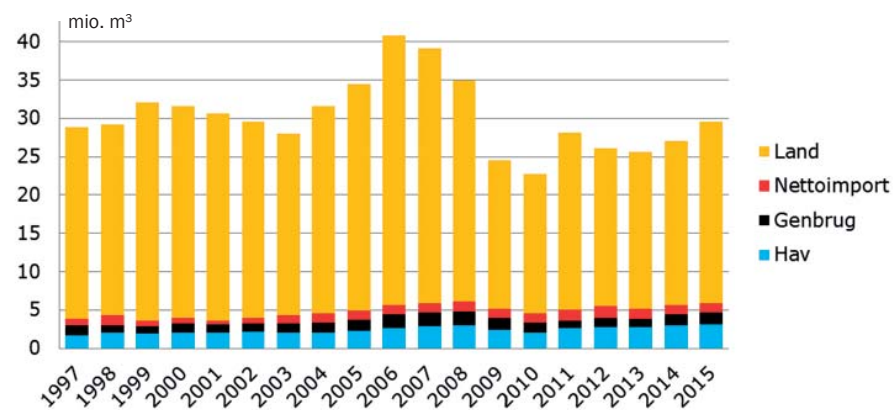
Dertil kommer, at Danmark er et lille og gennemplanlagt land. Så selv om det er istidernes gletsjere, der har bestemt, hvor råstofferne

findes, er det vores planlægning, der afgør, om man kan indvinde råstoffet, fordi vi også skal have plads til landbrug, byer, skov, kulturarv, naturområder, veje, fritidsområder og meget mere. Faktisk beregnede Teknologirådet i 2017, at der er planlagt for 130-140 % af Danmarks areal frem til 2050, det vil sige, at der er planlagt mere, end der er areal til. I dag udgør udlagte råstofgraveområder cirka 1 % af Danmarks areal. Grave-områder udlægges hvert 4. år i regionernes råstofplaner. Der foregår ikke aktiv råstofindvinding indenfor alle de udlagte graveområder, så grusgravene udgør mindre end 1 % af Danmarks areal.

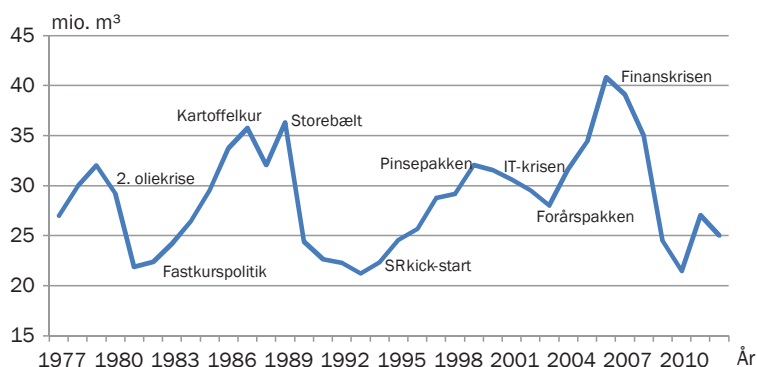
Endelig tilhører mineralråstoffer i Danmark jordejeren i modsætning til undergrundsråstofferne olie, gas og salt, der tilhører staten. Så hvis ikke jordejeren ønsker råstofferne indvundet, er råstoffet reelt ikke tilgængeligt. Det er dog muligt at ekspropriere for at få adgang til råstofferne, men det er der hidtil ingen eksempler på.

Råstofindvinding på havet foregår over sandbanker med suger, ved stiksugning fra et opankret skib eller slæbsugning fra et sejlede skib. Også på havet er der et stigende antal andre interesser som fiskeri, natur og kulturarv, der kan indskrænke råstofindvinding. For eksempel har Miljø- og Fødevarerministeriet, der er myndighed på havet, for nylig stoppet al råstofindvinding i Øresund. De mange interesser på havområdet, høje startomkostninger ved at erhverve skib og den mere besværlige transport fra havn og derefter videre med lastbil kan muligvis være årsag til, at der kun indvindes cirka 10 % til havs. Omdannelse af havne fra industri til boligformål har også mindsket antallet af losningssteder, og har dermed ændret forsyningsmønstret.

For både land- og havmaterialer gælder det, at transporten af råstofferne har betydning for råstoffernes pris og tilgængelighed og er også



Fordelingen af råstofproduktionen på landsplan opgjort i mio. m³. Kilde: DST, MST og NIRAS



Figuren viser råstofforbruget i Danmark over tid. Data om indvinding på land og hav fås fra indvindingernes indberetninger til Danmarks Statistik. Genbrugsdata fås fra Miljøstyrelsens affaldsstatistik i kategorier som beton, mursten, keramik mm., og mængden af genanvendte byggematerialer opgøres ved at gange genanvendelsesprocenter på hver af disse kategorier.

en væsentlig parameter i vurdering af bæredygtighed. Ifølge Copenhagen Economics' tal fra 2017 er transportafstandene typisk 80-100 km og transport koster 1 kr per tons råstof for hver kørt km. Transporten er øget gennem årene, blandt andet med en stigende transport til hovedstadsområdet stadig længere væk fra.

Råstofforbruget følger økonomien

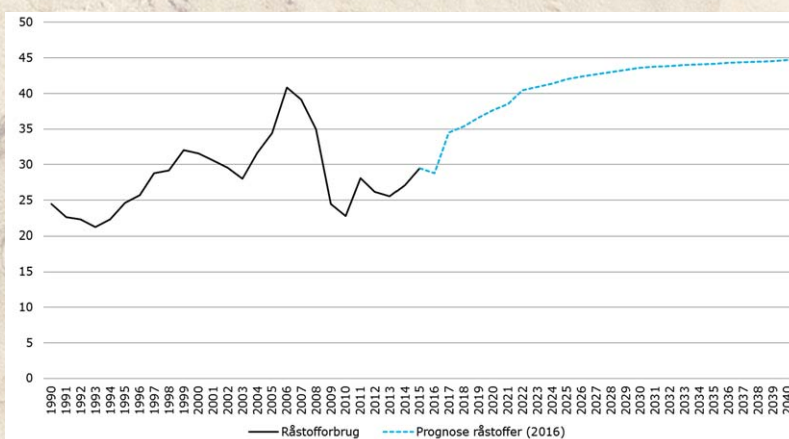
Af den mængde af sand, grus og sten, der årligt bliver brugt i bygge- og anlægsbranchen i Danmark, kommer 80 % fra indvinding på land og 11 % fra indvinding på havet. Det resterende forbrug er import på 4 %, typisk nedknust grundfjeld fra Sverige og Norge, samt 5 % genbrug, der typisk er nedknust beton til brug som vejmaterialer.

Råstofforbruget i Danmark har vi i NIRAS defineret som:

Råstofforbrug = Indvinding på land + Indvinding på havet + Import - eksport + Genbrug

Vi har ud fra denne definition set på det historiske råstofforbrug i perioden 1977-2013. Det er tydeligt, at forbruget afspejler konjunkturudviklingen, så økonomiske opsving øger råstofforbruget, og faldende økonomi fører til et mindre råstofforbrug. For eksempel betød blandt andet Kartoffelkuren i 1986, at boligbyggeriet bremsede op med et faldende råstofforbrug til følge. Dog var der en kortvarig stigning i 1989, hvor anlæggelsen af Storebæltsforbindelsen krævede mange råstoffer. Derimod betød et skifte til fastkurspolitik og et kraftigt rentefald i 1982 samt den lempeligere finanspolitik og faldende renter i 1990'erne en øget økonomisk vækst og et stigende råstofforbrug. Det største fald ses efter Finanskrisen i 2008, hvor bygge- og anlægsaktiviteterne blev

Figuren viser det danske forbrug af grus 1990-2016 samt en fremskrivning af forbruget frem til 2040. Fremskrivningen er baseret på Center for Regional og Turismeforskning (CRT) model SAM-K/LINE, som igen baserer sig på den makroøkonomiske model ADAM (Annual Danish Aggregate Model) fra Danmarks Statistik samt på befolkningsfremskrivningsmodellen DREAM. ADAM og SAM/K-LINE er valgt, da de har inkorporeret vigtige samfundsøkonomiske parametre som regeringstiltag, og bruges af blandt andet Finansministeriet til nationale fremskrivninger. Fremskrivningen af råstofferforbruget er herefter beregnet ved at indsætte CRT's prognose for bygge- og anlægsbeskæftigelsen i modellen. Fremskrivningen kan derfor ikke med sikkerhed sige, hvor stort råstofferforbru-



get vil være i et givent år. Det skal også nævnes, at interesseorganisationen Dansk Byggeri har en prognose for bygge- og anlægsbeskæftigelsen, der

er lavere en CRT's. En anden interesseorganisation, Arbejderbevægelsens Erhvervsråd, opererer med et fald i beskæftigelsen.

Foto: Gunnar Larsen

meget lave og førte til en halvering af råstofferforbruget. Så der er en god sammenhæng mellem et lands økonomiske aktivitet og dets forbrug af råstoffer.

Fremskrivning af forbrug

Man har forsøgt at give et bud på, hvor store mængder af bygge- og anlægsmaterialerne sand, grus og sten, der skal bruges i fremtiden ved en simpel fremskrivning af den historiske indvinding, der så ikke tager højde for de samfundsøkonomiske udsving. Også befolkningsudviklingen har været brugt som parameter for fremtidigt forbrug, men der ses ingen sammenhæng i

de danske data. Bruttonationalproduktet (BNP) har været brugt som mål for den økonomiske aktivitet, da det siger noget om samfundsøkonomien, og vores analyse viser, at BNP kan forklare omkring 40 % af råstofferforbruget i perioden 1990-2012.

Men når vi opstiller en model for sammenhængen mellem råstofferforbruget og beskæftigelsen i bygge- og anlægssektoren, ses en meget tydelig sammenhæng. Bygge- og anlægsbeskæftigelsen er en god indikator for råstofferforbruget, da en øget aktivitet i bygge- og anlægsbranchen ofte kræver mere

arbejdskraft og også et øget forbrug af råstoffer som sand, sten og grus. Resultaterne fra analysen viser, at omtrent 95 % af det samlede nationale råstofferforbrug kan forklares med afsæt i den samlede danske bygge- og anlægsbeskæftigelse for perioden 1990-2012. Så modellen for fremskrivning passer godt med de historiske data. Beskæftigelsen i bygge- og anlægssektoren til fremskrivning af råstofferforbruget har også været benyttet i Storbritannien med succes.

Til vores nyeste fremskrivning er der brugt et specialudtræk fra Center for Regional og Turismeforskning (CRT), der er en fremskrivning af beskæftigelsen i bygge- og anlægssektoren for perioden 2016-2040.

Vores fremskrivning viser et støt stigende forbrug i perioden fra cirka 29 mio. m³ i 2016 til cirka 45 mio. m³ i 2040. I 2021 er forbruget på samme niveau som før finanskrisen. Fremskrivningen er behæftet med usikkerhed, især på langt sigt. Pludselige ændringer i verdensøkonomien eller lokalt i den danske økonomi kan heller ikke forudsiges.

Den markante stigning i råstofferforbruget vil give øget efterspørgsel på råstoffer enten fra land, hav, genbrug eller nettoimport. Hvis det

Danske mineralråstoffer – og hvad de bruges til

Danmark er et mineralproducerende land, selv om vi ikke har guld, platin, jern og lignende som mere bjergrige lande. Men vi er selvforsynende og også eksportør af en lang række mineralråstoffer, der udgør et grundlæggende behov for et samfund:

Sand, grus og sten:	Byggeri og veje
Ler:	Teglsten tagtegl
Kalk:	Cement, beton, jordbrug, papir, røggasfiltre, plastik, fodertilskud m.m.
Kvartssand:	Sandblæsning, faldsand, kattegrus, hvid beton
Plastisk ler:	Bentonit (membraner, spuns vægge, atomaffald mm., letklinker (Leca-sten))
Moler:	Kattegrus, isolering m.m.
Tørv:	Gromedium
Flint:	Facadebeklædning
Granit og gnejs:	Veje, facadesten
Salt:	Vejsalt, spisesalt, industrisalt

antages, at indvindingen på land følger prognosen for råstofferbruget i 2016-2040 med udgangspunkt i 2015-niveauet for landindvinding, vil der i 2040 forbruges knap 9 millioner m³ råstoffer mere end der indvindes fra land.

Fordelingen af råstofferbruget 2016-2040 mellem de danske regioner viser, at det største forventede råstof-forbrug vil være i Region Midtjylland med 277 millioner m³ efterfulgt af Region Hovedstaden med 258 millioner m³ (minus Bornholm). Herefter følger Region Syddanmark, Region Sjælland og Region Nordjylland i nævnte rækkefølge.

Hvad er der tilbage i jorden?

Udbredelse, volumen og kvalitet af råstoffer i jorden kan bestemmes ved geologisk kortlægning ved hjælp af geofysiske målinger, boringer, 3D-modellering, kvalitets-analyser mm. For sand, grus og sten har det traditionelt foregået hos råstof-indvinderne selv, men blev i større omfang sat i gang af de daværende amter i midten af 1980'erne og fortsættes nu af regionerne. På havet udføres kortlægningen også af indvinderne og derudover af Staten, i praksis Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS).

På landområdet har regionerne opgjort, hvor meget grus, der stadig findes i de graveområder, der er udlagt i den nuværende Råstofplan 2016. Blandt de steder, der i dag kan indvindes grus, er der suverænt mest tilbage i Sønderjylland. I Trekantsområdet, området syd for Aalborg og i området omkring Roskilde er der også store restressourcer. I Midt- og Østjylland, på Fyn og Nordjylland er der noget mindre. Det skal pointeres, at regionerne har opgjort ressourcerne på forskellig vis, og der er i mange tilfælde ikke taget højde for, om grus-ressourcen fra naturens side har varierende tykkelse, og om det hele reelt kan udnyttes.

Men der findes jo også grus i jorden og på havbunden udenfor graveområderne. Hvor store disse ressourcer er, har der endnu ikke



I figuren ses restvolumener i udlagte graveområder opgjort per kommune. Det er det totale råstofvolumen, der vises, dvs. det er ikke opdelt på råstofkvaliteter.

været gjort et forsøg på at opgøre. At lave en sådan opgørelse fordelt på de forskellige kvaliteter af sand, grus og sten, vil kræve en kraftigt øget kortlægningsaktivitet.

Fremtidens grusbehov

Vi har givet et bud på, hvad råstof-forbruget kan være indtil 2040, og vi kan sige noget om, hvad der er af ressourcer tilbage i de udlagte graveområder. Sammenholdes de to, løber Danmark tør for råstoffer om cirka et halvt hundrede år. Men det er en unøjagtig sammenligning, da der for eksempel ligger råstoffer udenfor graveområderne, og da havområdet ikke er regnet med. Man kan også indvinde råstofferne dybere end hidtil, man kan mindske krav til materialer, der anvendes til veje og byggeri, eller substituere med andre typer råstoffer eller materialer. Substitution foregår allerede i dag, da man kan stabilisere moræner ved hjælp af kalk eller cement og derved undgå at bruge bundsikringsgrus til veje. I en råstof-fremskrivning for Storbritannien har the Mineral Production Association indregnet et fald af råstof-forbruget på 1,8 % per år som "råstofintensivering", der blandt

andet indeholder substitution, teknologiske forbedringer og nye konstruktionsmetoder.

Der kan desuden komme nedgang i samfundsøkonomien, så råstofproduktionen sænkes i en årrække. Om genbrugsprocenten kan øges er for øjeblikket vanskeligt at sige, da der allerede foregår en stor genanvendelse, og der arbejdes for eksempel på at genanvende beton til nyt beton og ikke kun at genbruge beton til veje. Øget import er en mulighed, der dog vil øge en række problemer som belastning af veje, CO₂-udslip, partikelforurening, flytning af indvindingsforhold til andre lande og lignende.

Så det er på nuværende tidspunkt muligt at konkludere, at Danmark på et tidspunkt løber tør for sand, grus og sten, men vi kender ikke årstallet. Hvis Danmark får en national råstofstrategi ligesom de fleste vestlige lande har, vil der kunne gives et bedre bud på forbrug, ressourcer, transportmønster, afvejning mod andre interesser og alle de andre forhold, der danner den komplekse cyklus for råstofressourcens vej fra jordlag til hus og vej. ■

Yderligere læsning:
NIRAS: Fremskrivning af råstof-forbruget 2016-2040, Landsdækkende resultater. Rapport fra Regionernes videncenter for miljø og ressourcer, 2018.
miljoeogressourcer.dk

RÅSTOFFER:
Er der behov for en national strategi? Danske Regioner. Videncenter for miljø og ressourcer, 2017.

Long-term aggregates demand & supply scenarios, 2016-30. Mineral Products Association. mineralproducts.org

KYSTZONEN SOM FILTER FOR NÆRINGSSTOFFER

Forfatterne



Jacob Carstensen er professor på Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet, hvor han forsker i menneskets påvirkning af marine økosystemer. jac@bios.au.dk



Mikkel Fruergaard er tenure-track adjunkt på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning ved Københavns Universitet, hvor han forsker i kystzonens udvikling i løbet af de sidste 10.000 år. mif@ign.ku.dk



Janus Larsen er fysisk oceanograf og udvikler numeriske modeller til beskrivelse af havstrømme, næringsstofomsætning og bevægelse af partikler i vandet. janus@bios.au.dk



Jesper Philip Aagaard Christensen er uddannet biolog indenfor akvatisk økosystemer og arbejder med modellering af eutrofiering i danske kystvande. Email: jc@bios.au.dk

Kystområder med tæt vegetation i vandkanten, udstrakte ålegræsenge og store muslingebestande fjerner en stor mængde af de næringsstoffer, som udledes fra marker via vandløb. Derfor er disse kystnære habitater vigtige at bevare.

Foto: Jacob Carstensen

Hvert år udledes omkring 60.000 tons kvælstof (N) og 2.500 tons fosfor (P) fra land til det danske havmiljø. Størstedelen af disse udledninger kommer fra landbruget. Udledningen af næringsstoffer medfører en forringet økologisk tilstand i havmiljøet, som giver sig til udtryk i form af algeopblomstringer, tab af ålegræsenge og udbredt iltvind. Men havmiljøet har også en naturlig evne til at fjerne disse næringsstoffer, og en stor del af næringsstofferne foruden organisk materiale bliver omsat og fjernet i de kystnære områder, tæt på kilderne. Faktisk fungerer kystzonen som et renseanlæg for næringsstoffer og organisk materiale, men det er uvist, hvor store mængder der fjernes, og hvor denne fjernelse hovedsageligt foregår. Dette har vi undersøgt i pro-

jektet *Kystzonen som renseanlæg*, støttet af VELUX fondene.

I modsætning til de fleste andre lande har Danmark ingen store floder, så udledningen af næringsstoffer fra land sker hovedsageligt via mindre vandløb med arealmæssige små nedbørsoplande. Det betyder også, at der er kort vej fra tab af næringsstoffer på marken til havet. Omkring 70 % af oplandsafstrømningen udledes til fjorde og bugter, hvor vandets opholdstid er relativ lang (typisk flere måneder). Inden det afstrømmende vand når havet, passerer det igennem kystzonen, som derfor potentielt udgør et vigtigt filter for næringsstofferne fra land. De vigtigste processer til fjernelse af næringsstoffer i kystzonen er sedimentation (både N og P) og denitrifikation (kun N).

Men kystzonen er også et økosystem med stor diversitet af planter og dyr, som bidrager til at fjerne næringsstoffer. Muslinger og ålegræs i de lavvandede områder tæt på åudløbet øger filtrationen og sedimentationen af partikler. Endvidere kan tilstedeværelsen af ålegræs og bunddyr stimulere fjernelsen af kvælstof ved denitrifikation. Vi forventer derfor, at tilstedeværelsen af planter og dyr resulterer i en mere effektiv filterfunktion, men det er uvist, hvor stor betydningen er.

For at undersøge filterfunktionen har vi indsamlet data fra to forskellige åudløb – Hove Å i Roskilde Fjord og Nivå i Øresund. Desuden har vi ved hjælp af numeriske modeller bestemt filterfunktionen og undersøgt betydningen af rørskov, ålegræs og muslinger for området omkring Hove Å.



Foto: Lumi Haraguchi

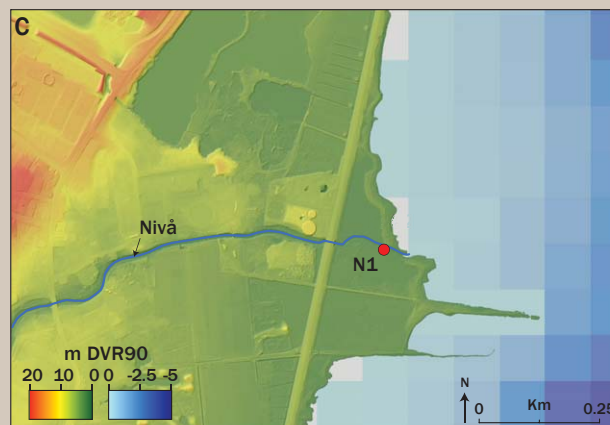
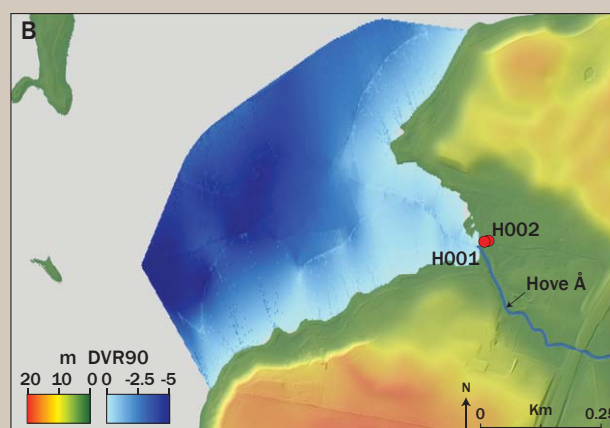
↑ Udtagning af sedimentkerne til bestemmelse af aflejring af næringsstoffer og organisk materiale.

← Indsamling af data fra flydende platform med diverse sensorer trukket efter en havkajak.

Kortene viser de to undersøgelsesområder ved Hove Å's udløb i Roskilde Fjord og Nivå's udløb i Øresund.

Indsamlingen af vandprøver foregik fra kajak og ved hjælp af sensorer på en flydende platform, som blev trukket efter kajakken. Der blev målt salinitet, ilt, temperatur, klorofyl og algesammensætning med sensorerne, mens vandprøverne blev analyseret for næringsstoffer og organisk stof. For at undersøge årstidsvariationer i filterfunktionen blev data indsamlet i Hove Å i juni, august og december 2018 samt januar og marts 2019 og i Nivå i august 2018 og marts 2019.

For at belyse ændringer i kystzonens filterfunktion gennem flere årtier indsamlede vi sedimentkerner fra den terrestriske del af kystzonen i nærheden af åudmunningen. I alt blev der boret tre kerner fra de to lokaliteter (figur B og C), hvor et plastrør blev hamret ned i jorden og efterfølgende gravet op. Det uforstyrrede sediment i kernerne er i laboratoriet beskrevet sedimentologisk og analyseret for organisk indhold samt fosfor og kvælstof. Desuden er sedimentet i kernerne blevet dateret med ^{210}Pb og ^{137}Cs , så den tidlige udvikling i sedimentakkumulationen og næringsstoffer kunne bestemmes.



Undersøgelser i Hove Å og Nivå

Det var forventet ved projektets start, at de valgte undersøgelsesområder havde forskellig filterfunktion på grund af forskel i bølgeeksponering samt strømforhold omkring de to udløb. Hove Å's udløb er relativt beskyttet for bølger med en lille vandgennemstrømning, og vandets opholdstid er relativ lang, hvorfor det er forventet, at

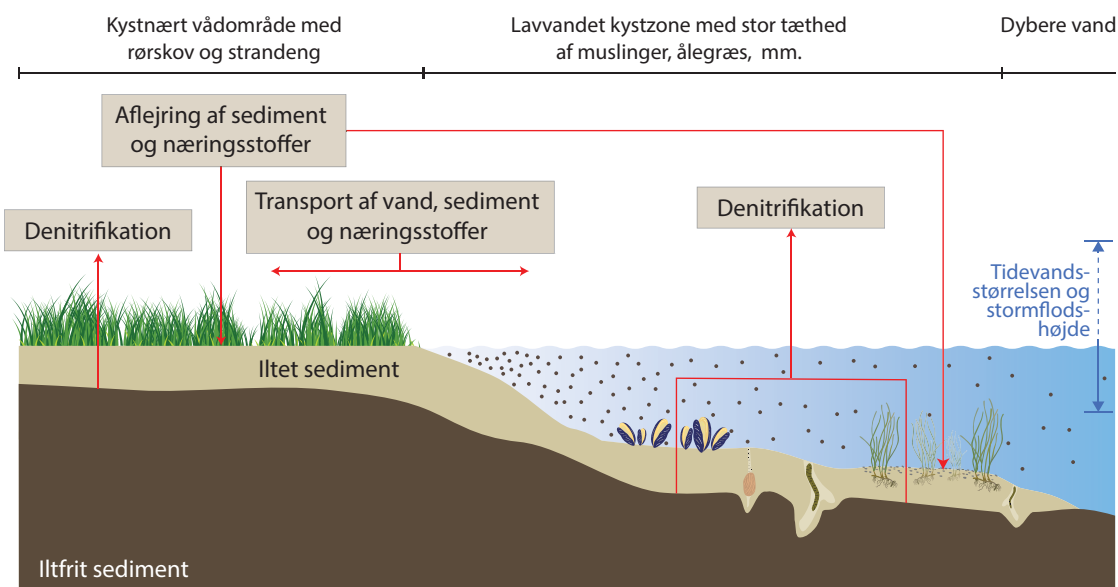
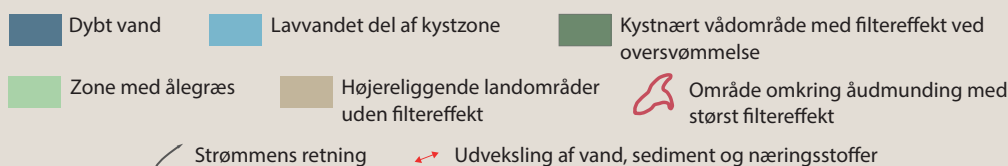
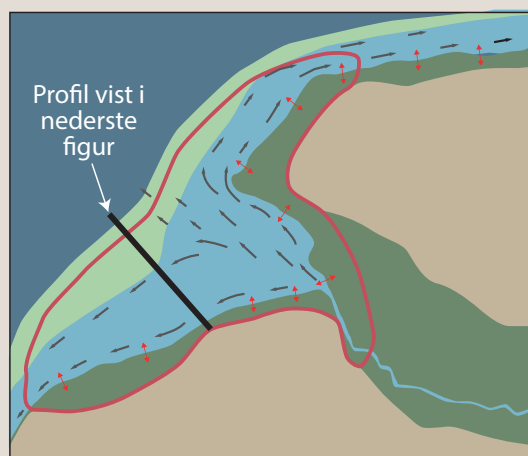
kystzonens filterfunktion er høj. I modsætning er Nivå's udløb relativt bølgeeksponeret og vandets opholdstid omkring åudløbet relativ kort, hvorfor kystzonens filterfunktion forventelig er lav.

Hove Å udspringer vest for København og løber cirka 20 km mod vest, hvor den efter passage af Gundsømagle Sø løber ud i Roskil-

de Fjord i en lavvandet beskyttet vig med spredt dækning af vandplanter primært i form af Almindelig havgræs (*Ruppia maritima*) afløst af Ålegræs (*Zostera marina*) fra omkring to meters dybde. Åen afvander et opland på ca. 70 km² og har en middelvandføring på 260 l/s. Den modtager overvejende vand fra det åbne land og kun en begrænset mængde spildevand.

Kystzonens filtereffekt

Store mængder af næringsstoffer til havmiljøet kommer fra små spredte vandløb. Omkring vandløbets udløb fjernes næringsstofferne hovedsageligt i omkringliggende vådområder og havbundens sedimenter. Kystzonen fungerer derfor som et filter for næringsstoffer fra land og reducerer tilførslen til de sårbare åbne farvande. Filtereffekten er større, når der er udbredte forekomster af vådområder, ålegræs og muslinger i kystzonen. De vigtigste processer til fjernelse af næringsstoffer er aflejring i vådområder og ålegræsenge og denitrifikation. Et bælte af ålegræs langs kysten øger vandets opholdstid og reducerer transporten af næringsstoffer til de dybere områder.



Nivå består af to, næsten lige store vandsystemer – Nivå og Usserød Å. Nivå løber fra vest mod øst og små to kilometer inden udløbet, flyder den sammen med Usserød Å, som kommer sydfra og har udspring i Sjælsø. Åen løber ud i Øresund i Nivå bugt, som er en lavvandet bugt med sandbund og ringe dækning af vandplanter. Nivå afvander et opland på 140 km² og har en middelvandføring på ca. 1000 l/s. Der ligger en del renseanlæg i oplandet, som udleder rensset spildevand til åen, blandt andet Nivå renseanlæg, som udleder spildevand til åen umiddelbart inden udløbet i Nivå Bugt. Begge vandløb

har været udsat for regulering af forløb igennem tiden.

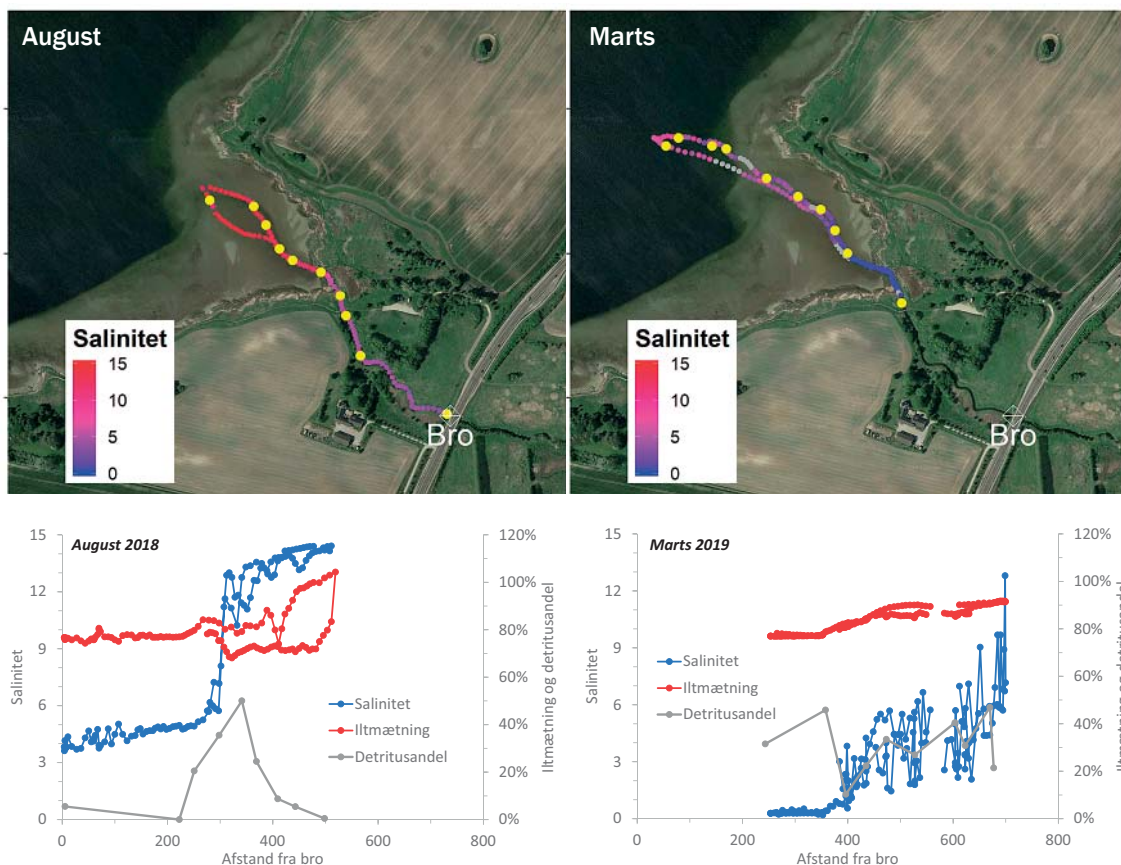
Til at belyse kystzonens filterfunktion blev data indsamlet fra både den marine og terrestriske del af kystzonen. Vi samlede data ind fra de to åers overgangszon, hvor åvandet møder det salte havvand.

Store ændringer i et lille område

Vores data fra projektet bekræfter flere af vores hypoteser. De viser primært, at der sker store fysiske, kemiske og biologiske ændringer i overgangszonen fra ferskvand til

saltvand. Udstrømningen fra vandløbet bremses op, når det møder havvandet, her sker der en udfældning og aflejring af alle de større organiske partikler, som vandløbet fører med sig – særligt i situationer med kraftig ferskvandsafstrømning.

Filterfunktionen i Nivå er som forventet lille, og ændringerne i indholdet af næringsstoffer og organisk materiale er hovedsageligt styret af de fysiske processer. Dette kunne ses selv i den tørre sommerperiode, hvor rensset spildevand med høje nitratkoncentrationer udgør en stor del af vandføringen, som ikke nå-



Gradienter for salinitet, iltmætning og andelen af detritus (rester af døde dyr, planter og mikroorganismer) for partikler ved udløbet af Hove Å i august 2018 og marts 2019. I august med lav ferskvandstilførsel ændrer saliniteten sig markant, hvor åudløbet udvider sig, og der dannes en masse detritus af ferskvandsalger i denne overgangszone. I marts ændrer saliniteten sig gradvist, og stor afstrømning hvirvler en relativ stor mængde detritus op fra sedimentet.

de at blive omsat i kystzonen.

I Hove Å kunne vi derimod observere store ændringer over kort tid og korte afstande. Overgangszonen mellem ferskvand og saltvand kan indenfor timer flytte sig fra oppe i vandløbet til flere hundrede meter ud i fjorden – afhængigt af vandføring og vandstand i fjorden. Der kan også være stor forskel i mængden af næringsstoffer og organisk materiale indenfor få meter og korte tidsrum, hvilket vi observerede som forskellige gradienter ved ind- og udsejling fra åudløbet i forhold til salinitet.

Algesamfundet ændrede sig meget markant over korte afstande (100 til 200 m). Vandet fra Hove Å var domineret af ferskvandsalger, mens de marine alger blev mere almindelige, når vi bevægede os ud i fjorden og saliniteten steg. Overgangen mellem de to algesamfund foregik i selve åen i sommerperioden og ude i fjorden i forårsperioden.

Samtidig var der i sommerperioden i overgangszonen en større mængde detritus (døde celler), hvilket indikerer, at ferskvandsalgerne dør, når saliniteten bliver for høj. Denne pulje af dødt organisk materiale medfører ligeledes et iltforbrug, hvilket kan ses ved en undermætning af ilt ved disse saliniteter. Den store mængde af ferskvandsalger i Hove Å stammer formentlig fra Gundsømagle Sø, som ligger cirka 3 km opstrøms åudløbet.

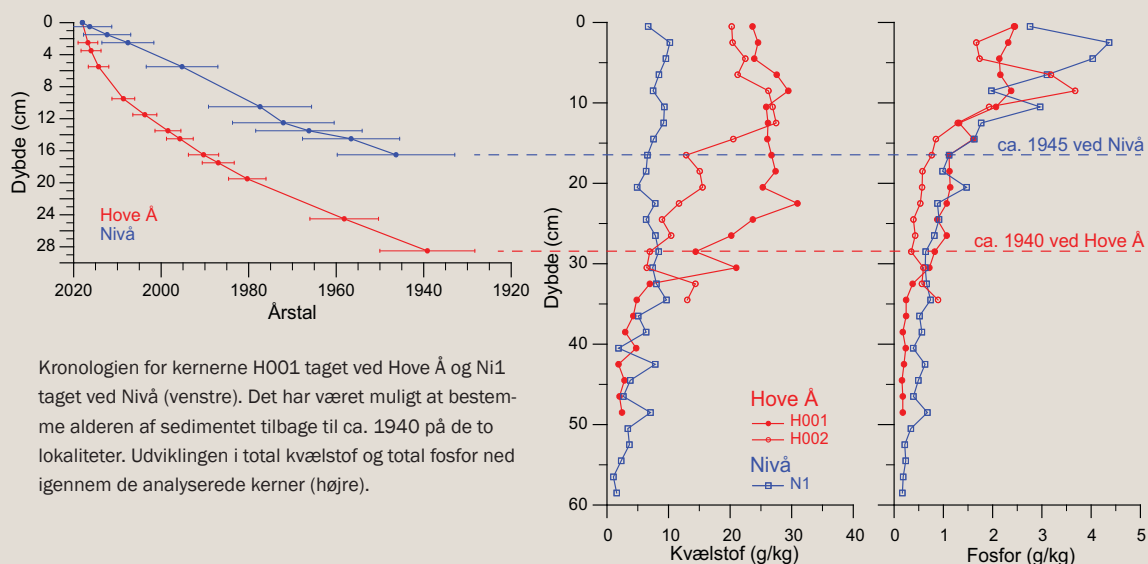
Fjernelse i havbund, rørskov og strandeng

Nettoaflejringen af partikelbundet kvælstof og fosfor i havbunden og i den terrestriske del af kystzonen afhænger af mængden af finkornet sediment (ler, silt og organisk materiale) der aflejres, af indholdet af kvælstof og fosfor i det aflejrerede sediment samt størrelsen af det organiske materials nedbrydning og frigivelsen af næringsstofferne efter aflejring.

Sedimentkernerne fra Hove Å og Nivå indikerer, at der kun ganske lokalt aflejres betydelige mængder finkornet sediment, primært i rørskov og lavtliggende strandeng. Indholdet af kvælstof og fosfor i det begravede sediment er imidlertid betydeligt, men da det samlede areal af områderne er lille er den totale mængde tilbageholdt kvælstof og fosfor begrænset.

Nettosedimentation af finkornet sediment på selve havbunden i kystzonen er de fleste steder ganske lille, da bunden er domineret af sandede sedimenter. Det skyldes, at det finkornede sediment bliver hvirvlet op af bølger og strøm i perioder med kraftig vind og aflejres i dybere områder.

Det er således mest sandsynligt, at de partikulære næringsstoffer, der tilføres de undersøgte kystzoner via vandløb og anden overfladeafstrømning, enten fanges i strandeng og



Lokalitet	Akkumulations-rate	Kvælstof-indhold	Fosfor-indhold	Kvælstof-aflejring	Fosfor-aflejring
	Kg/m ² /år	g/kg	g/kg	g/m ² /år	g/m ² /år
Hove Å	1,04	16,7	1,2	17,4	1,2
Nivå	1,26	6,3	1,2	7,9	1,5

Aflejring af sediment, kvælstof og fosfor i den terrestriske del af kystzonen ved Hove Å og Nivå.

rørskov, eller eksporteres videre ud på dybere vand, hvor det kan aflejres i ålegræsbede og biogene rev eller dybe stillestående områder.

Den opløste fraktion af næringsstoffer findes enten som en uorganisk form eller som organisk opløst stof. Den uorganiske form kan optages direkte af planteplankton, makroalger og ålegræs, mens den organiske form kan optages af bakterier, som udgør føde for eksempelvis dyreplankton. Uorganisk fosfor kan også fælde ud med jern, calcium eller andre kationer og dermed aflejres i sedimentet, men langt det meste fosfor findes allerede på partikelform eller i den organiske fraktion, når det kommer fra et vandløb. Den opløste fraktion af næringsstoffer kan således blive omdannet til partikelform og aflejres i den terrestriske del af det å-nære kystmiljø, hvis forholdene er optimale.

Den uorganiske del af kvælstofet kan også omdannes direkte til atmosfærisk kvælstof og dermed fjernes permanent fra systemet. Dette sker ved denitrifikation af nitrat, som sker effektivt i den del

af kystzonen, som veksler mellem at være tørlagt og oversvømmet, og som også har et højt indhold af organisk materiale.

Bestemmelse af filterfunktionen

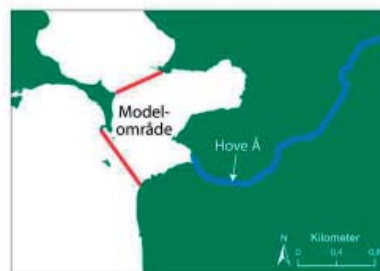
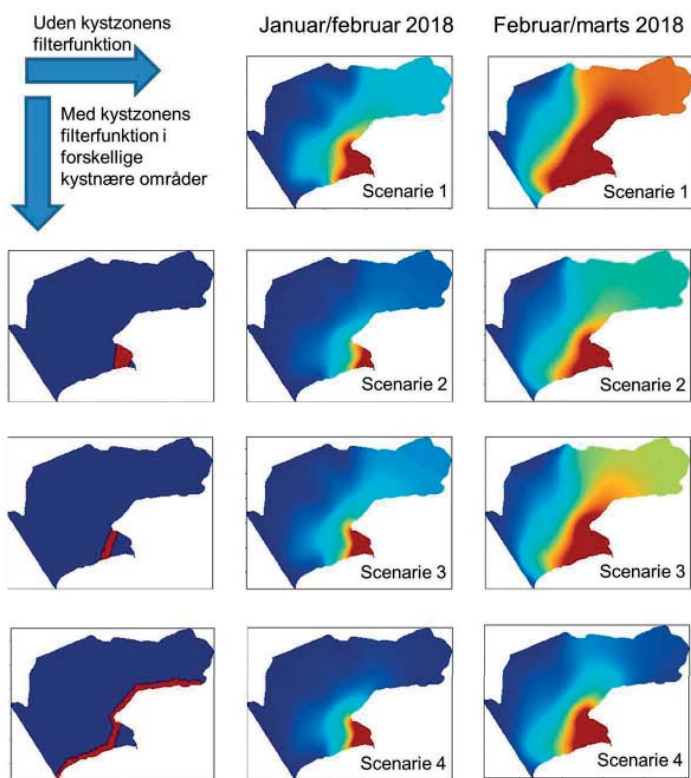
Vi har vurderet filterfunktionen omkring udløbet af Hove Å ved at introducere et kystzonefilter af forskellig udstrækning i en hydrodynamisk model med en filterkoefficient fastsat ud fra litteraturen. Derefter har vi undersøgt spredningen af en passiv tracer, som repræsenterer tilførslen af uorganiske næringsstoffer fra Hove Å, efter 30 dage.

Vi kørte modellen under to forskellige vejrmæssige situationer: 1) kraftig vind (januar/februar 2018) og svag vind (februar/marts 2018). Ved kraftig vind er vandtransporten i Roskilde Fjord stor, og de uorganiske næringsstoffer fra Hove Å fortyndes hurtigt. Derfor er effekten af kystfilteret ganske lille. Med den svagere vind øges opholdstiden og kystfilteret er mere effektivt, hvilket ses ved en større forskel mellem de fire scenarier. Kystzonens filtereffekt var størst, når filteret blev

placeret over en længere strækning langs kysten, i forhold til et kystfilter lige omkring udløbet af Hove Å.

Forvaltning af kystzonen

Vores resultater dokumenterer, at kystzonen omkring ferskvandskilderne bidrager med en væsentlig fjernelse af næringsstoffer fra land. Derfor er det vigtigt at fokusere på, hvordan netop disse lokaliteter forvaltes, så vi kan fjerne næringsstofferne tæt på kilderne, hvor filtereffekten er stor. Der sker en stor aflejring af organisk materiale og næringsstoffer i områder med rørskov og lavtliggende strandenge, men hvis dette område kun udgør et mindre areal, så vil filtereffekten være minimal. Derfor er det vigtigt at bevare disse bæltter langs kysten – og reetablere dem, hvor de er blevet fjernet – så partikler kan aflejres og næringsstoffer blive fjernet. Ligeledes er forekomsten af ålegræs og muslinger i området omkring åudløbet vigtige for fjernelsen af næringsstoffer. Derfor bør fysiske forstyrrelser, som ødelægger disse vigtige habitater, undgås. Filtereffekten af rørskov og lavtliggende strandenge såvel som ålegræs og muslinger begrænser sig



Udover forfatterne har følgende personer deltaget i projektet fra Aarhus Universitet: Lumi Haraguchi, Christian Mohn, Nikolaj Reducha Andersen, og fra Københavns Universitet: Thorbjørn Joest Andersen, Kristoffer Hofer Skinnebach.

Spredningen af et fiktivt næringsstof fra udløbet af Hove Å efter 30 dage modelleret for to perioder og fire forskellige scenarier: 1) ingen filterfunktion, 2) filterfunktion tæt på udløbet, 3) filterfunktion i et område længere væk fra udløbet og 4) filterfunktion i et område langs kysten. Den tredimensionelle hydrodynamiske model FlexSem er drevet af ferskvandsafstrømningsdata fra Hove Å (NOVANA), atmosfæriske data fra en nærliggende vejstation samt strøm og vandstandsdata fra EU Copernicus data portal.



ikke kun til området omkring åudløbet, men inkluderer også kyststrækninger længere væk. Derfor er det vigtigt at udarbejde forvaltningsplaner for en større inkluderende kystzone omkring ferskvandskilderne.

Disse vigtige habitater kan imidlertid blive truet med det stigende havniveau, som potentielt kan reducere deres areal, hvis ikke rørskov og strandenge får lov til at sprede sig længere ind i landet på grund af

eksisterende landbrug eller bebyggelse. Hvis vi skal bevare et effektivt kystfilter i fremtiden, kan det blive nødvendigt at afsætte landarealer til disse habitater for at imødegå disse effekter af klimaforandringer. ■

Science på RUC

Naturvidenskab i virkeligheden

Interesserer du dig for Matematisk Modellering?

Nye uddannelser på Roskilde Universitet:

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

PÅ GRÆNSEN MELLEM MATERIALER

Med en mikroskopiteknik, der oprindeligt blev udviklet til at studere membraner, kan forskerne nu undersøge fænomener på grænsen mellem forskellige typer materialer. Det kan for eksempel bruges til udvikling af nye fødevarer og nye metoder til langtidsmedicinering.

Om forfatterne



Anders Utoft er postdoc i biofysik i PHYLIFE gruppen på IMM, SDU aum@health.sdu.dk



Koji Kinoshita er adjunkt i biofysik i PHYLIFE gruppen på IMM, SDU koji@health.sdu.dk



David Needham er dr. scient. og professor i materialevidenskab på Duke universitetet i USA og æresprofessor i translationel kræftforskning på Nottingham universitetet i England d.needham@duke.edu

De fleste af os tænker til dagligt ikke så meget over de forskellige faser og tilstande, ting befinder sig i, eller de interaktioner, der sker mellem helt almindelige hverdagsting. Der er dog et utal af fysiske og kemiske parametre, som vi alle kommer i kontakt med hver dag, der faktisk er med til at styre vores valg, selvom vi måske ikke lige tænker over det. Når vi for eksempel skal gøre noget så simpelt som at koge en portion pasta, bruger vi allerede mange fysiske principper samt materialer i flere faser. Udover pasta bruger man typisk til dette formål vand, olie og salt – altså en hydrofil væske, en hydrofob væske samt et materiale på fast form (en krystal). Her har vi allerede tre faser, som kan interagere på flere forskellige måder.

For eksempel siger vi normalt, at olie og vand ikke blander sig eller er opløselige i hinanden, men når vi bevæger os ned på et mikroskopisk niveau, er olie og vand faktisk opløselige i hinanden til en vis grænse. Derudover flyder olien ovenpå vandet på grund af dens lavere massefylde, mens saltet synker til bunds på grund af dets højere massefylde. De mange små oliedråber samler sig tit til en stor oliepool på grund af overfladespændingen, der eksisterer, hvor vand og oliefaserne

mødes. Salt tilsættes som en fast krystal, der ikke går i opløsning i olien, men derimod bliver opløst til ioner, når den blandes med vandet, og resulterer i en saltvandsopløsning i stedet for en rent vand. Når vi så koger denne blanding af ingredienser, vil vandet fordampe først, da det har det laveste kogepunkt af de tre ingredienser på 100 °C. Derefter vil olien fordampe, da eksempelvis olivenolie har et rygepunkt (temperaturen hvorved olien begynder at ryge) på cirka 200 °C og et kogepunkt på cirka 300 °C. Til sidst står vi så med en gryde, hvor der igen er saltkrystaller tilbage på bunden, da disse smelter ved cirka 800 °C og først koger ved næsten 1500 °C. På grund af saltkrystallernes dårlige opløselighed i olien vil de dog allerede krystallisere, inden det sidste af vandet er fordampet, da saltvandsopløsningen vil have passeret opløseligheden af salt i vand (den koncentration, hvorved der ikke kan opløses mere salt i vandet) og have nået den kritiske grænse for overmætning og dermed resultere i krystallisering.

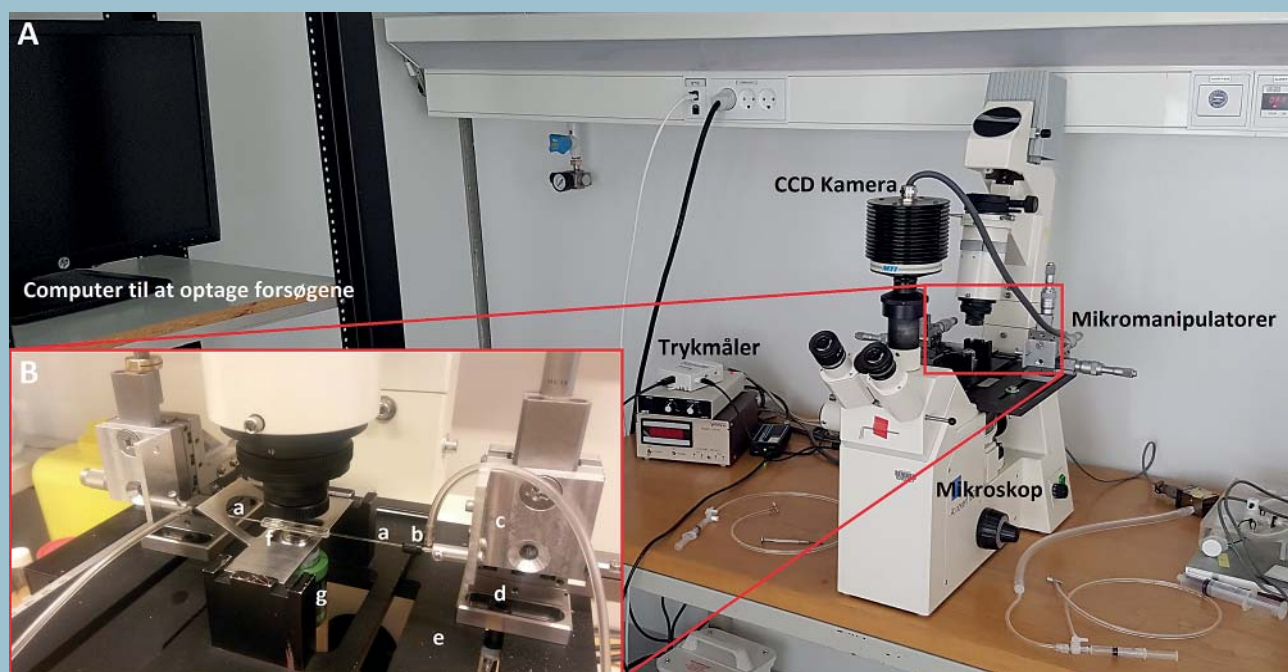
Mikropipetter afslører detaljerne

Hvis man er interesseret i nærmere at undersøge, hvad der på mikroskopisk niveau foregår, når materialer som de nævnte vekselvirker i en kogende gryde eller i alle mulige

andre sammenhænge, kan man anvende mikroskopi og præcis 3D-håndtering af mikropipetter. Det er en teknik, der tidligere er blevet udviklet og anvendt til studier af membraner og lipider, og som nu også anvendes til forskning indenfor medicin og mad.

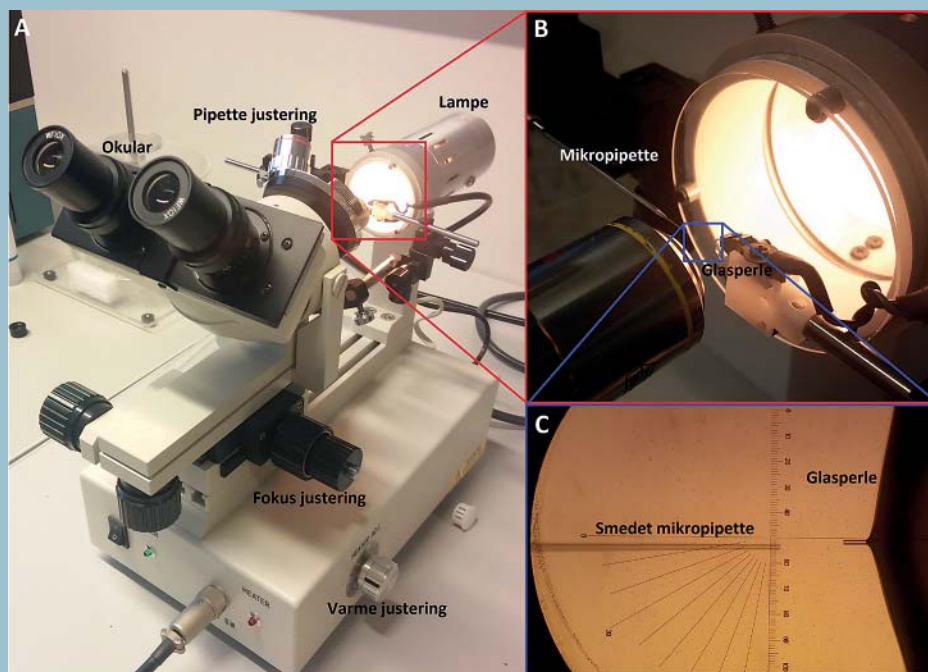
Mikropipettesystemet er en opsætning på et mikroskop, der tillader undersøgelse og 3D-håndtering af mikroskopiske objekter ned til 1-2 µm, hvilket svarer til cirka 1/40 af et hårs bredde. Til sammenligning er størrelsen på en enkelt rød blodcelle 5-7 µm. Selve mikropipetterne laves af glaskapillærrør på en mikrosmedje, så man kan lave præcis den pipetteform, man skal bruge. Med mikropipettesystemet kan vi undersøge fænomener som overfladespænding, opløselighed, diffusion, overmætning, nukleation (når molekyler går sammen og danner en ny fase, eksempelvis når vand i luften kondenserer, eller når salt/sukker krystalliserer fra en opløsning) og faseadskillelse. Når man undersøger fænomener som overfladespænding og adsorption til grænseflader med mikropipette-teknikken, vil de undersøgte materialer oftest være indeni mikropipetten. En anden måde at bruge teknikken på er ved at fremstille mikrodråber af forskellige materialer udenfor pipetten, der kan observeres og ma-

Mikropipetter



Mikropipetteplatformen består overordnet af tre dele: En trykmåler til undersøgelse af overfladespænding; et mikrokammer, hvori forsøgene foregår og mikromanipulatorer med fin 3D-kontrol. Dette giver mulighed for at etablere en veldefineret grænseflade mellem eksempelvis luft-vand eller olie-vand. Det indsatte billede viser mikropipetterne (a) monteret i 3D-manipulatorerne (b-e). Spidserne føres ind i mikrokammeret (f), hvor forsøgene foregår og observeres via objektivlinse (g).

A) Mikrosmedjen består af en pipetteholder, der kan justeres i tre dimensioner, en lampe for oplysning af pipettespidser samt en linse til at se pipetten, mens den smedes. B) Mikropipetten fastgøres og føres hen til en lille glasperle, der bruges til smedningen. Glasperlen er lavet af en anden type glas, der smelter ved en lavere temperatur og kan derfor varmes op, så det flydende glas kan løbe ind i mikropipetten til den diameter, der ønskes. C) Der stoppes med at varme på glasset, så det størkner og får mikropipetten til at revne præcist der, hvor det flydende glas nåede til (stumpen til højre er mørkere, fordi den er fyldt med glas fra glasperlen), og vi har således den færdig smedede mikropipette til venstre.



nipuleres med flere mikropipetter for at måle for eksempel diffusion og opløselighed. Den sidstnævnte teknik kan også bruges til at studere biologiske systemer som røde blodceller og deres reaktion på ændringer i deres omgivelserne.

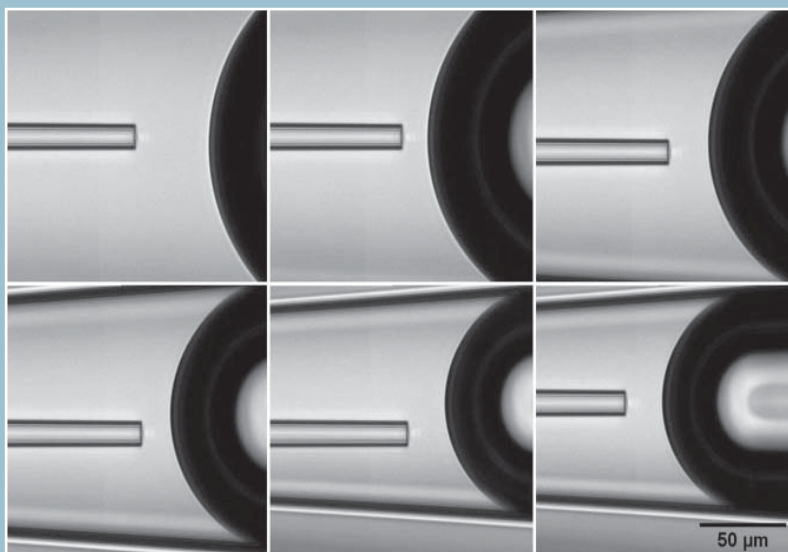
Overfladespænding kan manipuleres

Et af de fænomener, vi kan undersøge ved hjælp af mikropipetter, er som nævnt overfladespænding. Når man i eksemplet med at koge pasta ofte tilsætter olie til det kogende

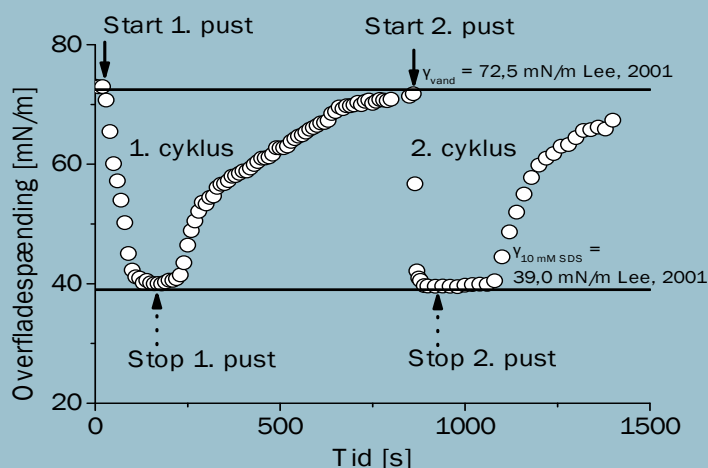
vand, er det primært for at undgå, at pastaen klister sammen, men også for at gryden ikke så nemt koger over. Hvis man bare har en gryde med vand, vil der være en overfladespænding mellem vand og luft på cirka 73 mN/m. Tilsætning

På grænsefladen mellem luft og vand

Ved at lave en mikroskopisk grænseflade mellem vand og luft (luften er den mørke fase på billedet) indeni mikropipetten, kan man ved at måle krumningen af overfladen samt det tryk, der skal til for at holde grænsefladen stille, udregne overfladespændingen ved grænsefladen. Den lille pipette til venstre i billederne indeholder et amfifilt molekyle, dvs. et stof, der i den ene ende kan opløses i vand og i den anden ende kan opløses i olie eller i dette tilfælde luft. Ved forsigtigt at blæse denne opløsning af amfifile molekyler ud på grænsefladen kan vi i realtid følge bevægelsen af grænsefladen til en mindre diameter indeni den store pipette på grund af et fald i overfladespændingen, når de amfifile molekyler adsorberer på grænsefladen.



Ved at fortsætte med at blæse de amfifile molekyler ud på grænsefladen kan vi sænke overfladespændingen fra 73 mN/m til 39 mN/m. Så snart vi stopper med at blæse opløsning ud af den lille pipette, vil systemet langsomt vende tilbage til ligevægt, og det ses tydeligt, at overfladespændingen igen nærmer sig de 73 mN/m. Denne cyklus med at blæse amfifile molekyler, sænke overfladespændingen, stoppe med at blæse og vende tilbage til ligevægt kan udføres stort set lige så mange gange, man ønsker. Denne cyklus er et eksempel på, hvad der også foregår i vores lunger, hvor amfifile molekyler ligeledes dækker overfladen af alveolerne (de små luftsække i lungerne) og sænker overfladespændingen. Det betyder, at det ikke gør ondt at trække vejret.



af olie vil forstyrre overfladen, da olien vil lægge sig ovenpå vandet og danne en olie-luft-grænseflade, der har en meget lavere overfladespænding. Det er stort set det samme fænomen som i forsøget, som mange kender, hvor man får en mønt af et let metal som aluminium til at flyde i en skål med vand, og derefter får mønten til at synke, når man tilsætter en dråbe opvaskemiddel. Overfladespændingen opstår, fordi der er en større tiltrækning mellem molekylerne i en væske som vand end der er mellem vandmolekylerne og luften. Det er disse kræfter, der er skyld i, at væsker trækker sig sammen til en dråbeform og dermed mindsker overfladearealet, hvor det er i kontakt med omgi-

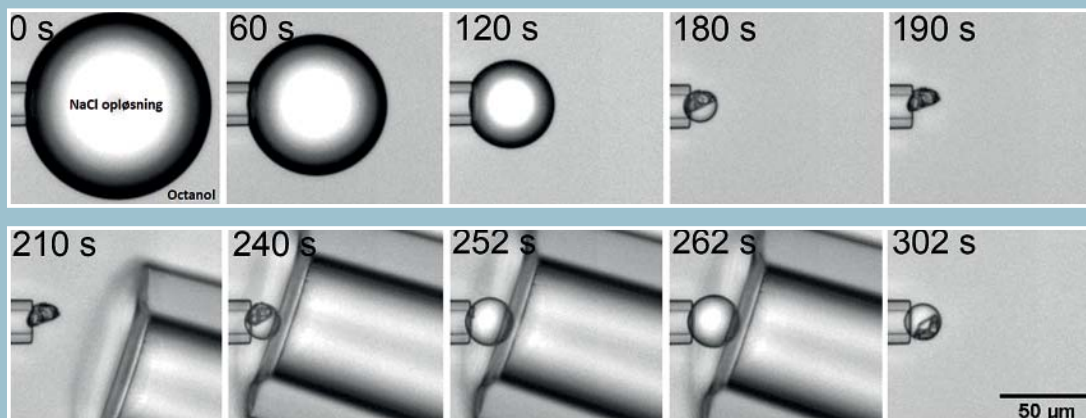
velserne. Overfladespænding kan påvirkes ved at tilsætte andre materialer som lipider eller andre amfifile molekyler (molekyler der både er hydrofile og hydrofobe). Dette bruges i mad, hvor olie-i-vand-emulsioner (for eksempel mayonnaise) og vand-i-olie-emulsioner (for eksempel smør) er afhængige af amfifile molekyler til at stabilisere emulsionen og undgå, at de forskellige faser skilles fra hinanden.

Super høj overmætning og krystallisering

Saltet i vores gryde med pasta er et eksempel på krystaller, som vi bruger i det daglige. Et andet eksempel er sukker, og begge er eksempler på vandopløselige krystal-

ler. Der findes flere forskellige typer af krystaller, for eksempel er salt (NaCl) en ionisk krystal – det vil sige en krystal, hvor molekylerne er bundet sammen af atomernes individuelle ladning (i dette tilfælde Na^+ og Cl^-). Sukrose (sukker) og is er derimod molekulære krystaller, det vil sige en krystal, hvor molekyler uden ladning er bundet sammen af svagere kræfter som hydrogenbindinger. Derudover findes der også kovalente krystaller, hvilket betyder at der er en kemisk binding mellem de individuelle atomer – et eksempel er diamant. Det unikke ved krystaller er, at de på molekylært niveau har et krystalgitter, som gentager sig selv. Typen af gitter kan være vigtig for, hvilket

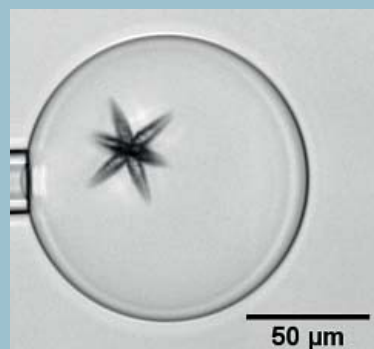
Krystallisering og opløsning af salt



En mikrodråbe bestående af saltvand befinder sig i et miljø bestående af octanol, hvori vand langsomt opløses, mens saltet bliver i vandfasen (0 – 120 s). Når koncentrationen af salt (NaCl) indeni dråben bliver for høj, krystalliserer det (180 – 190 s).

Hvis en stor pipette med rent vand bliver ført tæt på saltkrystallen, vil vandmolekyler langsomt diffundere gennem octanolen og sætte sig på overfladen af saltkrystallen og dermed danne en helt ny vandfase, der nu kan opløse krystallen. Dette sker, fordi det rene vand i den store pipette opløses i octanolen, som dermed mættes. Vandet i octanolen (ved mætning) har et højt kemisk potentiale (energiniveau), og det er derfor energimæssigt favorabelt for vandet at sætte sig på saltkrystallen (240 – 262 s).

Hvis den store pipette fjernes, vil systemet igen begynde at opløse vandet i dråben, og saltkrystallen vil igen krystallisere (302 s).



Lige i de millisekunder, hvor krystalliseringen af salt finder sted, sker forløbet så hurtigt og voldsomt, at det nærmest minder om en mikroskopisk eksplosion. Den frigivne energi gør det også meget svært ikke at tabe/miste dråben fra spidsen af pipetten. De gange, hvor det lykkes at fastholde dråben, kan man se den flotte krystalsymmetri under den meget hurtige nukleation.

materiale der bliver dannet. For eksempel kan kulstof både danne diamant (kubisk gitter) og grafit (hexagonal gitter).

Når et stof går fra opløsning til krystalform, er det en proces, der indebærer opkoncentrering, overmætning, nukleation (dannelse af en ny fase) og vækst. Og den proces kan vi undersøge ved at bruge mikropipette-teknikken. Vi kan for eksempel lave saltvandsopløsninger, hvor vi langsomt fjerner vandet fra dråben. Der sker så en opkoncentrering af salt, indtil vi passerer koncentrationen, der svarer til salts opløselighed. Ved at fjerne yderligere vand når vi nu op i det overmættede område, hvor

der er opløst mere salt, end der egentlig kan være. På et tidspunkt når vi en kritisk grænse, hvor der er opløst næsten dobbelt så meget som ved ligevægt, og næsten halvdelen af den flydende dråbe består af salt-ioner. Her er salt-ionerne kommet så tæt på hinanden, at det er fysisk umuligt for dem at forblive i opløst form. Der sker nu en nukleation af salt, og i løbet af mindre end 1 sekund vil alt det overmættede salt i opløsningen blive deponeret på den nye krystal, som dermed vokser. Studier af, hvornår og hvordan disse begivenheder finder sted, er vigtige, fordi det fortæller os, hvordan vi kan styre processen, så vi kan opnå det ønskede produkt.

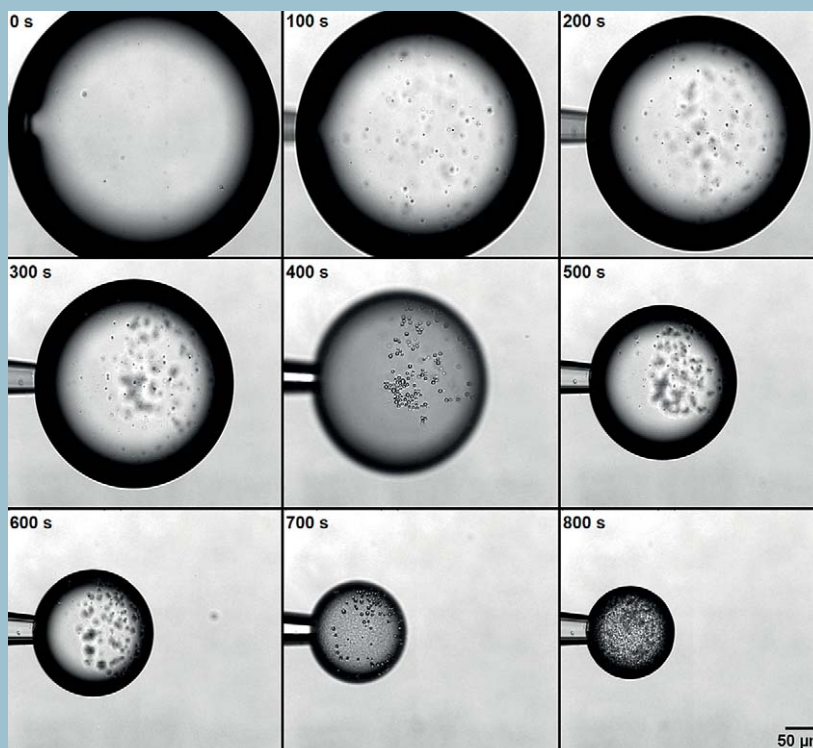
Fra sundere madvarer til ny medicin

Studiet af disse fysiske og kemiske egenskaber ved materialer og deres vekselvirkninger har ikke kun akademisk interesse. For eksempel kan sådanne studier bruges til at optimere nye madvarer, hvor man prøver at udskifte de mættede fedtsyrer med et sundere alternativ. Man kan eksempelvis udskifte palmeolie (cirka 50% mættet fedtstof) med solsikkeolie (cirka 10% mættet fedtstof). En sådan udskiftning vil dog ofte resultere i en ændret konsistens, som man ikke er interesseret i. Ved at benytte viden om interaktionen mellem faser og overflader kan det lade sig gøre at finjustere disse systemer, så man opnår den ønskede konsistens, men

Formulering af ny medicin og sundere is

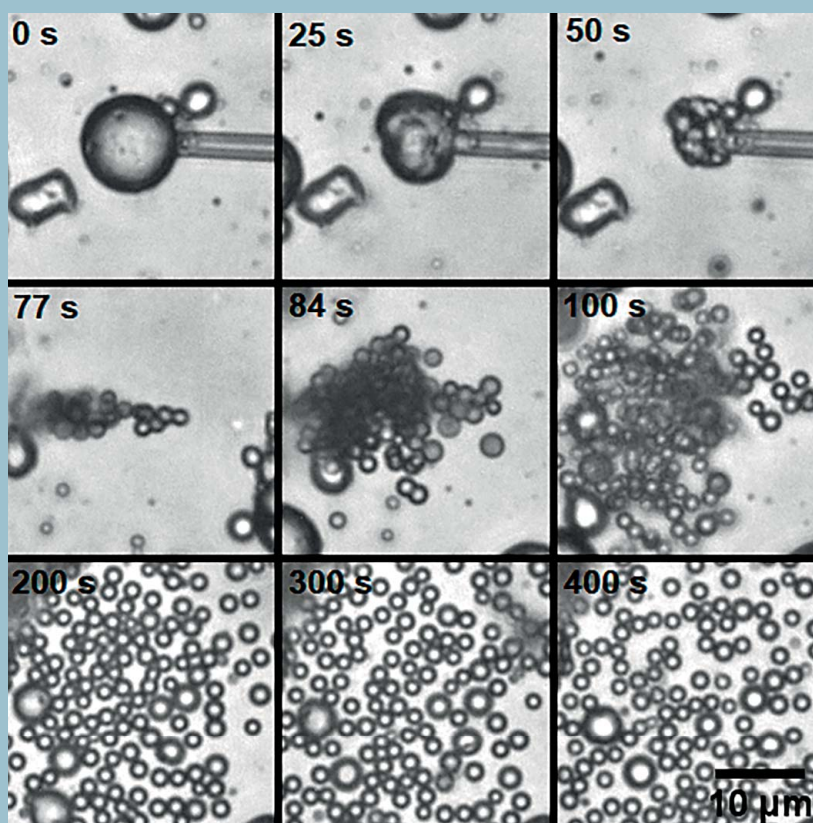
Her ses en dispersion (en blanding af en væske og små partikler), hvor dråben består af diklormetan med opløst polymer, og partiklerne består af glasificeret protein, der er lavet ved at have en vandig opløsning af protein, hvor vandet er blevet fjernet, ligesom i eksemplet med saltkrystallen. Ved langsomt at opløse diklormetan fra dråben ud i den omkringværende vandfase (0 – 700 s) vil polymeren ved opkoncentrering størkne, mens glasperlerne af protein stadig befinder sig indeni (700 – 800 s).

Dette er en metode, der er blevet brugt til at lave nye formuleringer af proteiner, der kan bruges til behandling af sygdomme. Ved at inkorporere proteinerne i en polymer, der langsomt bliver nedbrudt i kroppen, vil man kunne styre frigivelsen af medicin over længere tid, og man vil derfor kunne undgå daglig medicinering ved at anvende disse depoter af medicin.



Ethylcellulose er en polymer indenfor fødevarer, der kan strukturere olie, eksempelvis solsikkeolie, og dermed bruge det som erstatning for mættede fedtsyrer, der ofte kommer fra palmeolie.

De 3 øverste billeder viser en dråbe af solsikkeolie med en "skal" af ethylcellulose. Den indre olie, der nu er mere tyktflydende, kan suges ud med mikropipetten, og når man blæser olien ud igen, danner den mange små dråber, der er stabile i længere tid uden at gå sammen til større dråber, selv ved direkte kontakt med hinanden. Dette er blevet brugt til at lave nye formuleringer af is.



med en sundere sammensætning.

Man kan også bruge sådanne studier til formulering af nye typer medicin, hvor man for eksempel

kan være interesseret i at ændre daglig medicinering til kun at være månedlig eller endda halvårlig. Man kan prøve at ændre på, hvilken fase en medicin befinder sig i eller pakke

den ind på en anden måde ved at anvende stoffers opløselighed og få dem til at udfælde på forskellige tidspunkter under dannelsen af mikroskopiske medicinske partikler. ■

Asteroider i forklædning

Ifølge teorien burde der være masser af metalliske asteroider i Solsystemet.

Sådanne objekter er dannet for milliarder af år siden i Solsystemets barndom, da nydannede småplaneter smadrede hinanden i kollisioner, så kun deres jernkerner blev tilbage. Hidtil har undersøgelser af asteroidernes sammensætning dog afsløret forbavsende få af disse metal-rige asteroider.

Nu har Guy Libourel ved Côte d'Azur Universitetet i Nice, Frankrig og hans kolleger fremsat en mulig forklaring på dette paradoks i tidsskriftet *Science Advances*. Forskerne udførte eksperimenter, hvor de skød små partikler af sten ind i stål eller stykker af jernmeteoritter ved hastigheder svarende til typiske kollisioner



En kunstners gengivelse af asteroiden 16 Psyche, som menes at være en af de "nøgne" planetkerner, der burde være mange flere af i Solsystemet.
Illustration: Maxar/ASU/P. Rubin/NASA/JPL-Caltech

ner mellem asteroider. Resultatet af disse højenergi-kollisioner var, at overfladen på de beskyttede objekter blev dækket af en glasholdig overflade. Denne coating slø-

rede med andre ord den underliggende overflade, hvilket ledte forskerne til at foreslå, at en lignende mekanisme kunne forklare de manglende metal-rige asteroider: Kollisioner med små objekter kan simpelthen have dækket de metal-rige asteroider med glasholdige brokker og derved have sløret deres sande identitet.

I 2022 opsender NASA en rumsonde til den jernrige asteroide Psyche, hvor fartøjet skal undersøge, hvordan kollisioner påvirker asteroiders overflader og måske dermed komme med et håndfast bevis for

forskernes glas-teori.

CRK, Kilde: *Science Advances*:
Vol. 5, no. 8, eaav3971

Bliv studerende for en dag



Som **Studerende for en dag** følger du undervisningen på den uddannelse, du er interesseret i. Du spiser frokost med den studerende, som viser dig rundt, og så bliver du klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

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

Tilmeld dig på sdu.dk/nat/studerendeforendag

PERIODESYSTEMET

– 150 års aktuel naturvidenskab

I år kan vi fejre 150-året for periodesystemet (eller det periodiske system) – et af naturvidenskabens få ikoner. At systemet har opnået ikonstatus skyldes blandt andet, at systemet ikke bare handler om grundstofferne, men om hele kemien.



Periodesystemet er uden diskussion et af de mest genkendelige videnskabelige symboler også udenfor kemikernes fagkreds. Umiddelbart fascinerer det da også de fleste, at mangfoldigheden i den verden, vi sanser, fra virus til galakser – og såmænd sanseprocesserne selv – fremkommer af kun 90 naturligt forekommende byggesten.

Grundstofferne styrer i alle de omdannelser, vi oplever: Plantevækst, stofskifte og sanseindtryk såvel som geologiske processer. Grundstofferne bestemmer også egenskaberne af alle de materialer, vi endnu ikke har opfundet, såvel som dem, vi ser og benytter: Proteiner, sukke, batterier, stærke magneter og superledende materialer. At grundstofferne i periodesystemet selv kan reduceres yderligere til protoner, neutroner og elektroner ændrer intet; de processer og energier, der er involveret i trinnet mellem grundstofferne og elementartilstandene har minimal relevans for de reaktioner og materialer, der i form af kemien forbinder os med verdenen.



Buste af Dmitrij Mendelevs (1834-1907) foran Moscow State University. I år fejrer vi Mendelevs periodesystem, idet UNESCO har udnævnt 2019 til IYPT (International Year of the Periodic Table).

Foto: Jesper Bendix

des. Det gælder selvfølgelig Daltons atomteori fra begyndelsen af 1800-tallet fulgt af mere end et halvt århundredes disput om, hvilke kemiske enheder der var grundstoffer. Arbejdet med nøjagtig bestemmelse af masseforhold i kemiske reaktioner var meget vigtigt og kulminerede med den allerførste internationale videnskabelige kongres, som blev afholdt i Karlsruhe i Tyskland i september 1860. Her kunne den italienske kemiker Stanislao Cannizzaro, blandt andet baseret på tyskeren Friedrich August Kekulé's tilordning af valensen 4 til carbon (1857), endeligt fremlægge en tabel over relative atommasser, der var praktisk

fejlfri omend stadig behæftet med eksperimentelle usikkerheder. Dermed var der skabt et numerisk ordningsprincip for grundstofferne, der blev en ledestjerne for de mange konkurrerende forsøg på at opstille periodesystemer, som fandt sted op gennem 1860'erne. En del har nok hørt om russiske Dmitrij Mendelev og måske også tyske Lothar Meyer i forbindelse med opstillingen af periodesystemet. Men historien er dog noget mere kompliceret end som så, og man kan med

Udviklingen af periodesystemet

Udviklingen af periodesystemet for 150 år siden var bestemt ikke en pludselig indskydelse, der fandt sted på et tilfældigt tidspunkt i historien. En del af den begrebsmæssige inspiration kom fra biologiens systematisering i 1700-tallet blandt andet gennem Carl von Linné's *Systema Naturae*, men der var også mange tekniske og erkendelsesmæssige forudsætninger indenfor kemien, der skulle på plads, før periodesystemet kunne nedfæl-



Forfatteren Jesper Bendix er professor og sektionsleder for Uorganisk Kemi, Kemisk Institut, Københavns Universitet bendix@chem.ku.dk

Forsker bredt indenfor uorganisk kemi. Har publiceret videnskabelige arbejder med ca. 2/3 af de naturligt forekommende grundstoffer. Særlige interesser indenfor elektronstruktur af d- og f-blokkens forbindelser, strukturmæssige af kompleksforbindelser generelt og magnetiske egenskaber af molekylære forbindelser.

Grundstoffernes periodesystem (IUPAC)

Grundstoffernes periodesystem (IUPAC)

s-blok																		p-blok					
1 H hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]																	2 He helium 4.0026						
3 Li lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.0122																	5 B bor 10.81 [10.806, 10.821]	6 C carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 N nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 O oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 F fluor 18.998	10 Ne neon 20.180
11 Na natrium 22.990	12 Mg magnesium 24.305 [24.304, 24.307]																	13 Al aluminium 26.982	14 Si silicium 28.085 [28.084, 28.086]	15 P phosphor 30.974 [30.972, 30.976]	16 S svovl 32.06 [32.059, 32.071]	17 Cl chlor 35.45 [35.446, 35.457]	18 Ar argon 39.948
																		d-blok					
19 K kalium 39.098	20 Ca calcium 40.078(4)	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titan 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chrom 51.996	25 Mn mangan 54.938	26 Fe jern 55.845(2)	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nikkel 58.693	29 Cu kobber 63.546(3)	30 Zn zink 65.38(2)	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.630(8)	33 As arsen 74.922	34 Se selen 78.96 [78.95, 78.97]	35 Br brom 79.904 [79.901, 79.907]	36 Kr krypton 83.798(2)						
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirkonium 91.224(2)	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybden 95.95	43 Tc technetium 98.906	44 Ru ruthenium 101.07(2)	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag sølv 107.87	48 Cd kadmium 112.414	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimon 121.76	52 Te teller 127.60(3)	53 I iod 126.90	54 Xe xenon 131.29						
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoider	72 Hf hafnium 178.49(2)	73 Ta tantal 180.95	74 W wolfram 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23(3)	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platin 195.08	79 Au guld 196.97	80 Hg kviksølv 200.59	81 Tl thallium 204.38 [204.38, 204.39]	82 Pb bly 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium 209	85 At astat 210	86 Rn radon 222						
87 Fr francium 223	88 Ra radium 226	89-103 actinoider	104 Rf rutherfordium 261	105 Db dubnium 262	106 Sg seaborgium 266	107 Bh bohrium 264	108 Hs hassium 277	109 Mt meitnerium 268	110 Ds darmstadtium 271	111 Rg roentgenium 272	112 Cn copernicium 285	113 Nh nihonium 284	114 Fl flerovium 289	115 Mc moscovium 288	116 Lv livermorium 293	117 Ts tennessin 289	118 Og oganesson 294						



 INTERNATIONAL UNION OF
 PURE AND APPLIED CHEMISTRY

f-blok																	
57 La lanthan 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodym 140.91	60 Nd neodym 144.24	61 Pm promethium 145	62 Sm samarium 150.36(2)	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25(3)	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97			
89 Ac actinium 227	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uran 238.03	93 Np neptunium 237	94 Pu plutonium 244	95 Am americium 243	96 Cm curium 247	97 Bk berkelium 247	98 Cf californium 251	99 Es einsteinium 252	100 Fm fermium 257	101 Md mendelevium 258	102 No nobelium 259	103 Lr lawrencium 262			

IUPAC's version af periodesystemet med de første syv komplette perioder. Opdelingen af periodesystemet i blokke (s-blokken, p-blokken, d-blokken og f-blokken) er vist med de ind tegnede bokse. Opdelingen er baseret på typen af orbitaler, der fyldes i det pågældende område af periodesystemet og grundstofferne i blokkene har ligheder ligesom de enkelte grupper (søjler) og perioder (rækker). Skillelinien mellem metaller og ikke-metaller er illustreret med grønt.

rimelighed sige, at udviklingen af de første periodesystemer forløb over tidsrum på mere end 15 år, og at der var mindst fem andre kemikere, der var på banen med vægtige forslag tidligere eller samtidigt med Mendelejevs offentliggørelse. Et af disse var i øvrigt fremsat af dansk-fødte Gustavus Detlef Hinrichs, der studerede ved Københavns Universitet, før han udvandrede til USA.

Mendelejevs fortjeneste

Hvorfor er det så lige, at Mendelejev endte med at løbe med det meste af æren for periodesystemet? Det er der flere grunde til:

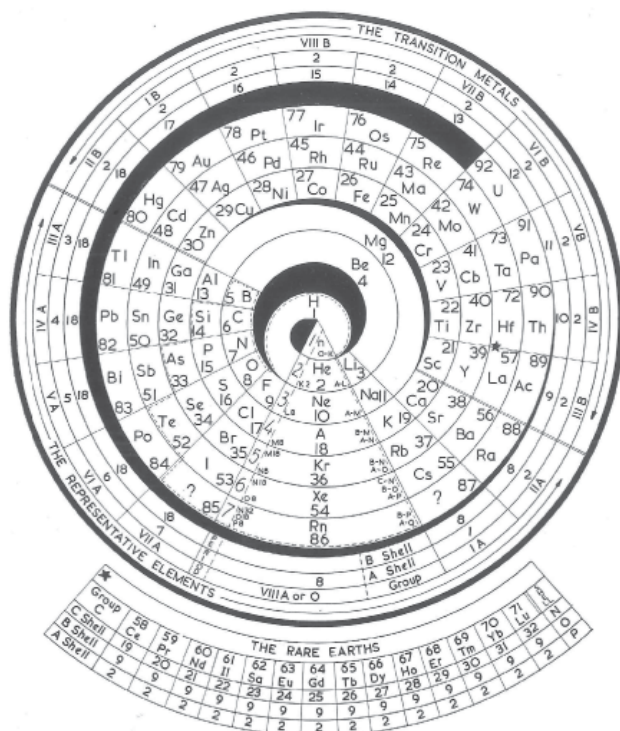
- Hans system var det eneste, der omfattede alle de dengang kendte grundstoffer, selvom nogle var forkert placeret
- Han offentliggjorde før tyskeren (Julius) Lothar Meyer, der er den konkurrent, som oftest nævnes i forbindelse med opdagelsen, og Meyer kendte til Mendelejevs offentliggørelse

- Han indså klart nødvendigheden af at inkludere ikke-opdagede grundstoffer
- Han forudså atommasser af nogle af de ukendte grundstoffer og deres valenser
- Han baserede ikke kun sit system på atommasser, men anvendte kemiske egenskaber til at placere de kendte grundstoffer
- Han forudså både kemiske og fysiske egenskaber af forbindelser af de forudsagte grundstoffer

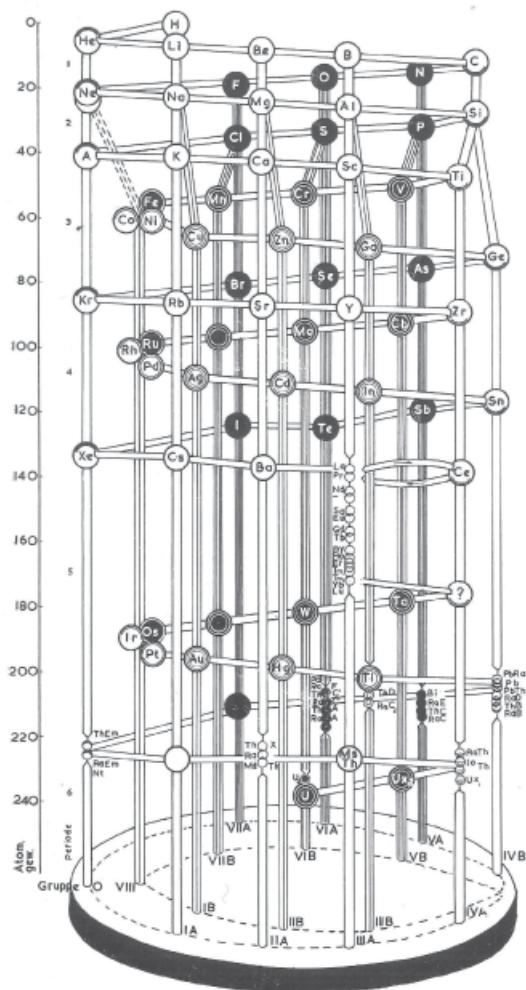
Selvom Mendelejevs forudsigelser af ukendte grundstoffer ofte fremhæves som hans særlige fortjeneste, er det især ved de sidste to punkter, at Mendelejev bragte sig afgørende foran sine kolleger. Der er ingen tvivl om, at Mendelejev havde et overlegent stofkemisk kendskab, hvilket afspejledes i, at hans systematisering i mere detaljeret grad byggede på egenskaber af forbindelser end på egenskaber af de frie grundstoffer. Samtidigt

udstrakte han sine forudsigelser til i nogen detalje at behandle kemiske forbindelser af uopdagede grundstoffer (gallium, scandium og germanium).

Mendelejev nåede altså frem til et kemisk baseret periodesystem, uden at han, som nogle af sine konkurrenter, lod sig forblinde af mytisk/religiøse argumenter omkring de numeriske værdier af atomvægtene. Præcis den kemiske basis for Mendelejevs periodesystem er også grunden til, at vi skal fejre det. Som det vil blive illustreret senere i artiklen, kan Mendelejevs indsigt anvendes "baglæns" og derved bliver placeringen af et grundstof i periodesystemet en nøgle til masser af information, både kvalitativ og semi-kvantitativ, om kemien af grundstoffet. Begrebet "den periodiske lov" har været brugt om den periodicitet i egenskaber, som afspejles i periodesystemet. Men enhver, der har gravet lidt i grundstoffernes kemi, vil have erkendt, at det ikke



Spiralformet periodesystem (Emerson, 1944).



Helixformet periodesystem (Harkins og Hall, 1916) efter J. W. Van Spronsen *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years*. Elsevier, New York, 1969.

er en lov i gængs naturvidenskabelig forstand, og periodiciteten fremtræder tydeligst, når kemien ansues i et overordnet perspektiv. Alligevel er periodesystemet den mest kompakte, systematiske og uomgængelige lærebog i kemi, man kan tænke sig.

Her i jubilæumsåret er de første 7 perioder af periodesystemet komplette, og vi kender 118 grundstoffer. Heraf har de første 100, eller skal vi bøje fakta og lade det være 101 af hensyn til hovedpersonen, kemisk relevans. Æren af at lægge navn til grundstof nr. 101 (mendelevium) fik Mendelev nemlig – omend sent (1955). Nobelprisen var han indstillet til to gange i 1906 og 1907, men fik den ikke på grund af svenskeren Svante Arrhenius' nid og politiseren. Det er nok den mest oplagte Nobelpris, der aldrig blev givet. Nogle år senere, i 1913, offentliggjorde Niels Bohr så sin atomteori, som passer med periodesystemet. Bohr fulgte i øvrigt i Mendelevs fodspor og foreslog, at det ukendte grundstof nr. 72 skulle ligne zirkonium, hvilket førte til at Coster og de Hevesy undersøgte et zirkonium-mineral fra Geologisk Museum i København og deri påviste hafnium, som blev navngivet efter byen.

Opstillinger af periodesystemet

Den officielle version af periodesystemet fra IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) i dag er for alle praktiske formål identisk med det layout, som Alfred Werner (Nobelpris 1913) var kommet frem til allerede i år 1900.

Undervejs i historien er vi blevet beriget med utroligt mange alternative udformninger af periodesystemet som foldede, spiralformede i 2 og 3 dimensioner, såvel som nogle der er opbyggede nedefra, hvis fantasifuldhed kun matches af deres manglende gennemslagskraft.

Perioderne, det vil sige rækkerne i periodesystemet, indtager særlig stilling ved at dele navn med hele systemet. Det har været hævdet, at tabelleringens form med diskontinuitet mellem perioderne giver unaturlige afbræk i rækken af atomnumre (og atommasser, der stort set vokser jævnt med atomnumret). Periode-fri periodiske systemer, hvor perioderne i de traditionelle opstillinger er forbundne i enten spiral-formede eller helix-formede periodesystemer, blev udviklet og advokeret som en måde at undgå perioderne i de klassiske opstillinger. Det faktum, at Mendelev overvejede spiralformede varianter af periodesystemet, men endte med ikke at foretrække dem, illustrerer tydeligt hans dybe kemiske forståelse, som var grundlaget for hans succes. Den insisteren på kontinuitet, som de spiral- (eller helix-) formede systemer er udtryk for, har ingen retfærdiggørelse i kemien. Tværtimod udgør de adskilte perioder et fuldstændigt grundlæggende træk ved grundstoffernes kemi.

Perioderne er en slags kemiske fængsler for grundstofferne: Ingen grundstoffer kan således (i kemiske

Om at fylde elektroner i atomer

Vil man forstå, hvorfor periodesystemet ser ud som det gør, må man forstå den rækkefølge (også kaldet "aufbau"), som elektronernes energiniveauer har, idet det er disse energiniveauer, der bestemmer antallet af grundstoffer i den enkelte periode. I Niels Bohrs atommodel beskrives elektronerne ved fire kvantetal, og energien af en elektron i et frit atom afhænger af to af dem: hovedkvantetallet og bijkvantetallet. Hovedkvantetallet (n) er synonymt med elektronskallens nummer (1,2,...), og det beskriver elektronens afstand fra atomkernen. Bijkvantetallet (l) bliver ofte betegnet ved forkortelserne s, p, d og f, der beskriver faconen af elektronens bane omkring atomkernen: en s-elektron har en kugleformet tæthedsfordeling, en p-elektrons fordeling minder om et "8-tal", en d-elektrons om et firkløver mv. Bijkvantetallet antager værdier fra 0 til $n-1$ ($l=0 \Rightarrow$ s-facon; $l=1 \Rightarrow$ p-facon; ...). Tilsammen specificerer hoved- og bijkvantetallet et sæt af orbitaler, der har samme energi i et frit atom. Empirisk har det vist sig, at energien af

orbitalerne tilnærmelsesvis vokser med summen af hovedkvantetallet og bijkvantetallet, $n+l$. I tilfælde af, at to orbitaler har samme værdi for $n+l$, vejer en lille værdi for n tungest i forhold til, hvilken orbital der bliver fyldt først (Madelungs regel). Dette giver en opfyldningsrækkefølge ("aufbau-rækkefølge"), hvor eksempelvis 3d-niveauet ($n+l=5$) fyldes efter 4s ($n+l=4$), men før 4p ($n+l=5$), hvilket resulterer i at den fjerde periode er "langstrakt" i forhold til de tre forudgående. På samme måde bliver begge perioderne 6 og 7 af længde 32, da der skal være plads til henholdsvis 4f- og 5f-niveauerne i disse perioder. Oftest afbilledes f-blokken dog separat for at undgå et alt for bredt layout.

Det er vigtigt at bemærke, at i en korrekt (relativistisk) beskrivelse, så afhænger energiniveauerne af forhold mellem naturkonstanter, hvilket betyder at det naturlige layout af periodesystemet *ikke* er en konsekvens af Bohrs atommodel alene.

Kvantitative mål for elektronegativitet

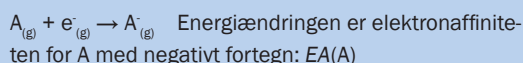
Begrebet elektronegativitet, forstået som evnen til at tiltrække elektroner, er meget centralt for diskussion af ladningsfordelinger såvel som for forståelse af kemisk reaktivitet. Interessen for at gøre dette kvalitative begreb kvantificerbart opstod naturligt kort efter kvantemekanikkens udvikling og introduktionen af de første modeller for kemisk binding. Kemikeren Linus Pauling bemærkede, at alle de kendte diatomiske molekyler bestående af to forskellige grundstoffer (AB) havde en stærkere binding ($E_{\text{diss}}(\text{AB})$) end gennemsnittet af bindingsstyrkerne i molekyler af de grundstoffer, som de var afledt af:

$\frac{1}{2}[E_{\text{diss}}(\text{AA}) + E_{\text{diss}}(\text{BB})]$. Dette førte til en definition af forskelle i elektronegativiteter ($\chi_{\text{Pauling}}^{\text{A}} - \chi_{\text{Pauling}}^{\text{B}}$) givet i ligning 1, hvorved nulpunktet ikke er fastlagt:

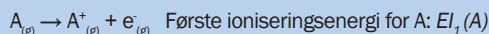
$$(\chi_{\text{Pauling}}^{\text{A}} - \chi_{\text{Pauling}}^{\text{B}})^2 \propto E_{\text{diss}}(\text{AB}) - \frac{1}{2}[E_{\text{diss}}(\text{AA}) + E_{\text{diss}}(\text{BB})] \quad (1)$$

Kort herefter (1934) foreslog fysikeren Robert S. Mulliken en alternativ skala baseret på de fundamentale

processer for et neutralt atom i gasfase, nemlig optag af en elektron:



og afgivelse af en elektron:



Mulliken definerede så sin elektronegativitetsskala ved ligning 2:

$$\chi_{\text{Mulliken}}^{\text{A}} \propto \frac{1}{2}[EA(\text{A}) + EI_1(\text{A})] \quad (2)$$

Det er meget tilfredsstillende for kemikere, at de to elektronegativitetsskalaer korrelerer rigtigt godt med hinanden. Det betyder, at elektronegativitet er en størrelse, der med god mening kan defineres for det enkelte grundstof (Mulliken), men også at elektronegativitetsforskelle er afgørende for graden af ladningsseparation i bindinger og dermed styrken af dem, og hvor meget ionisk karakter de har.

forbindelser) afgive eller optage så mange elektroner, at de får en ufyldt valensskal med samme antal elektroner som et grundstof, der står i en anden periode. Den ikoniske facon af periodesystemet er altså bestemt af antallet af grundstoffer i hver periode. Og det, der bestemmer, antallet af grundstoffer i en periode, er energierne af elek-

tronerne i atomerne, som er en konsekvens af atomernes opbygning.

Periodisk variation af elektronegativitet

Som allerede antydnet er periodesystemet et redskab til kemisk tænkning, som ikke kan matches med internetopslag eller en simpel lærebog. Mange kemiske egen-

skaber varierer så systematisk og forståeligt i periodesystemet, at et grundstofs gruppe- og periodenummer afslører meget af dets kemi. En af disse egenskaber er elektronegativitet, som er et mål for et atoms evne til at tiltrække elektroner fra et andet atom. Beskrivelsen af den kemiske binding tager normalt udgangspunkt i elektronegativitet, der

Periodesystemet og grundstoffernes fordeling i naturen

Et yderligere eksempel på periodesystemets nytte til at systematisere kemien er begrebet "hårde" og "bløde" kationer og anioner. Dette begreb blev populariseret af amerikaneren Ralph Pearson i form af hans HSAB (Hard/Soft-Acid/Base) princip, der tilsiger, at hårde metal-ioner fortrækker hårde mod-ioner og bløde metal-ioner, bløde mod-ioner. Pearsons hård/blød-karakter hænger sammen med polariserbarheden af ionernes elektronskyer, hvilket kan oversættes til elektronskyens tilbøjelighed til at deformeres, så der dannes en delvist positiv og en delvist negativ ende. Jo mindre kerneladningen er i stand til at styre valenselektronerne, jo mere polariserbar bliver ionen (atomet). Generelt kan man for både metaller og ikke-metaller sige, at polariserbarheden vokser med periodenummeret – så de tungere grundstoffer er blødere. Samtidig vokser

polariserbarheden med faldende positiv ladning for metaller og med stigende negativ ladning for ikke-metaller. Konsekvensen er, at forbindelser mellem tunge grundstoffer omkring skillelinjen mellem metaller og ikke-metaller i periodesystemet udgør en gruppe af særligt stabile forbindelser. Fra geologien kan man fremdrage mineralerne AuTe, HgSe, Ti_2S og PbS som eksempler. Omvendt, så er kombinationer mellem hårde metal-ioner og hårde anioner, der er placeret langt fra skillelinjen, også favorable – eksempelvis mineralerne LiF, CaF_2 , TiO_2 og MnO_2 . Denne opdeling i hårde og bløde metal-ioner er også tydelig i metallernes fordeling i biologiske systemer og deres giftighed: Det er typisk de bløde metal-ioner, der er giftige, og bekvemt for retskemikere og historikere binder disse metal-ioner til de bløde svovl-sidekæder i proteiner i hår og negle.

derved bliver et meget centralt kemisk begreb. Den svenske kemiker Jöns Jacob Berzelius indførte det allerede i 1811 baseret på affiniteter mellem grundstoffer suppleret med elektrokemiske data. Det var også klart i årene omkring udviklingen af periodesystemet, at grupperne i periodesystemet ikke kun afspejlede ligheder med hensyn til oxidations-trin eller valenser, om man vil, men også var en gruppering efter tilbøjeligheden til at danne kationer og anioner. Selvom elektronegativitet blev indført som et rent kvalitativt begreb uden direkte forbindelse til fysiske størrelser, så var det tidligt klart, at det er en jævnt graderet egenskab, som kan gøres kvantitativ.

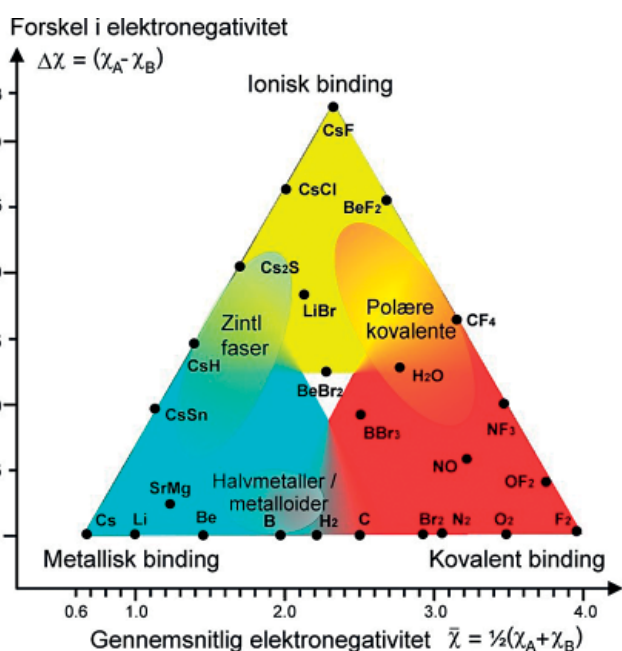
Da elektronegativitet hænger sammen med, hvor godt den positivt ladede atomkerne tiltrækker og fastholder elektronerne, er det ikke vanskeligt, at forstå den overordnede variation igennem periodesystemet: Jo større atomet er og jo færre protoner, der er i kernen, desto mindre elektronegativt er det.

Dette fører til et billede med fluor som det mest elektronegative og alkalimetallerne (gruppe 1) som de mindst elektronegative grundstoffer. Generelt kan man sige, at elektronegativiteten vokser fra nederste venstre hjørne mod øverste højre

hjørne af periodesystemet. Dog med den lille detalje, at francium faktisk er en smule mere elektronegativ end caesium. Derfor bliver det også caesium, der besætter to af de tre hjørner i den såkaldte Ketelaar-trekant, der beskriver bindingskarakteren i forhold til de tre hovedtyper ionisk binding, metallisk binding og kovalent binding.

Periodisk variation af størrelser

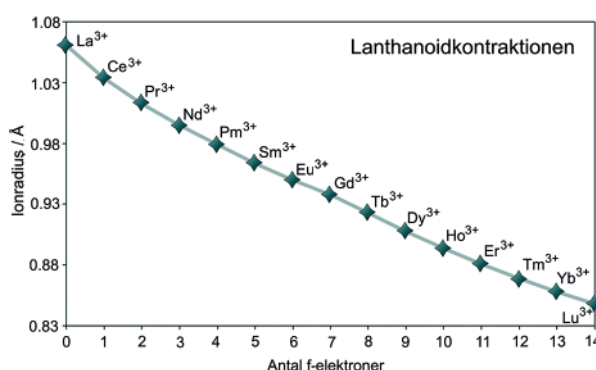
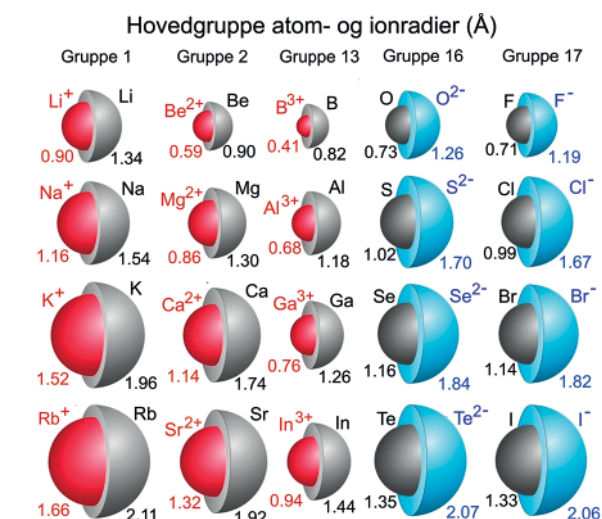
Størrelsen af grundstofferne og deres afledte ioner er en anden meget væsentlig parameter i at bestemme deres kemi. Ligesom elektronegativitet varierer størrelsen af atomerne også på en letforståelig, systematisk måde igennem periodesystemet. Koordinationstal, bindingslængder, opløseligheder og syrestyrker er nogle af de helt fundamentale egenskaber, der afhænger af atom- og ionradier. Da størrelsen af atomer og ioner varierer systematisk gennem periodesystemet, bliver grundstoffernes placering også direkte beskrivende for disse egenskaber. Med et eksempel fra gruppe 17, der altid leverer bekvemme systematiske variationer, så er hydrogeniodid en stærk syre ($\text{pK}_a < 0$) og blandt hydrogen-haliderne den stærkeste, hvorimod HF kun er en middelstærk syre ($\text{pK}_a \approx +3,2$). Dette hænger blandt andet sammen med, at H-I bindingen er ret svag (295 kJ/mol)



En variant af Ketelaar-trekanten eller bindingstype-trekanten, som tydeligt illustrerer betydningen af begrebet elektronegativitet i diskussionen af bindingsforhold. Bestemmende for typen af kemisk binding i binære forbindelser er både forskellen i elektronegativitet (ordinaten), men også den gennemsnitlige elektronegativitet. Der er således stor forskel på metalbindingen i en intermetallisk forbindelse som SrMg og den overvejende kovalente binding i NO-molekylet. Bemærk, at Cs er det mest elektropositive grundstof snarere end Fr.

Øverst: Variationen i atomradier (grå) og ionradier (rød/blå) for udvalgte hovedgruppegrundstoffer.

Nederst: Variationen i ionradier for de trivalente kationer af lanthanoiderne inkl. La. Størrelserne vokser generelt med periodenummeret undtagen for 4d- og 5d-metallerne, hvor lanthanoidkontraktionen bevirker, at grundstofferne i 5. og 6. periode fra samme gruppe har næsten ens størrelse. Størrelserne falder hen igennem perioderne pga. den stigende kerneladning, og de falder også med faldende antal elektroner (stigende oxidationstrin) for fastholdt atomnummer.



sammenlignet med H-F bindingen (565 kJ/mol). Forskellen skyldes både elektronegativitetsforskellene, men også den udtalte størrelsesforskel mellem hydrogen og iod, der ikke tillader effektiv deling af elektroner (kovalent binding).

Variationen i størrelse ned gennem grupperne i s-blokken og p-blokken i periodesystemet afspejler, hvordan elektronerne i valensskallen får middelfastande fra atomkernen, der ifølge Bohrs atommodel vokser med hovedkvantetallet. Atomradier i 6. periode er således mellem det dobbelte og tre gange atomradierne i 2. periode. Disse størrelsesforskelle giver anledning til store forskelle i gitterenergier for ioniske forbindelser, og de relative størrelser af anioner og kationer er langt hen ad vejen bestemmende for, hvilke gittertyper ioniske forbindelser danner. Kendskab til forholdet mellem radierne af kationen og anionen tillader en ret sikker forudsigelse af strukturtypen for binære forbindelser med dominerende ionisk binding.

At ionradier ikke blot er kedelige tal, men drejer sig om liv og død, kan man værdsætte ved at overveje, at hele vores nervesystem er baseret på koncentrationsforskelle for Na⁺ og K⁺ over cellemembranerne, og at disse koncentrationsgradienter i

sidste ende beror på Na-K-pumpens evne til at skelne mellem Na⁺ og K⁺ baseret på en ret moderat forskel i ionradius på cirka 25%.

Lidt mindre oplagt er variationen i atomradius, når man bevæger sig vandret igennem en periode. Her ser man, at mens atomnummeret, og dermed også antallet af elektroner i valensskallen, vokser, så aftager atomradius. Denne kontra-intuitive variation skyldes, at en valenselektron ikke skærmer fuldstændigt for ladningen af en proton i kernen. Konsekvensen er, at hele elektronskyen påvirkes af en stigende effektiv kerneladning, når atomnummeret vokser. Indenfor en given periode får vi en effekt, der er af samme størrelsesorden som variationen indenfor en gruppe (gående fra 2. til 6. periode). Eksempelvis har chloratomet en radius, der er cirka 2/3 så stor som natriumatomet. Konsekvensen af de to modsatrettede størrelses-effekter er, at lithium og iod, der, adskilt af 50 atomnumre, indtager modsatte ringhjørner i periodesyste-

met, er næsten lige store.

Særligt klart fremtræder den faldende radius med voksende kerneladning, når man betragter f-blokken. Her er der en tydelig reduktion i ionradius for de trivalente lanthanoid-ioner (La³⁺-Lu³⁺). Effekten er så tydelig, at den har sit eget navn: "Lanthanoidkontraktionen". Som en direkte konsekvens af Lanthanoidkontraktionen har Hf samme størrelse som Zr, der står i perioden ovenfor, og deres kemi er meget ens. På samme måde udgør (Nb og Ta), (Mo og W) og (Tc og Re) par af grundstoffer med meget ens kemi.

Et sejlivet ikon

At periodesystemet ikke kun handler om grundstofferne, men om hele kemien og dermed hele den materielle verden, der omgiver os, er dets største værdi. Det blev indset af Mendelejev for 150 år siden, og gør det sandsynligt, at det om yderligere 150 år stadig sammen med en tungerækkende fysiker vil være ikoner for naturvidenskaben. ■

Ydere læsning:
Den bedste gennemgang af periodesystemets historie findes i: J. W. Van Spronsen (1969): *The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years* Elsevier, New York.

E. Råncke-Madsen, (1984): *Grundstoffernes opdagelseshistorie*, G.E.C. GAD, København.

Jensen, W.B. (1996): *Electronegativity from Avogadro to Pauling*, J. Chem. Educ., 73, 11-20.

Muligheden for at kunne udtrække DNA fra mange tusinde år gamle rester af mennesker og dyr har revolutioneret vores viden om vores fælles fortid. Her er vi ved Center for Geogenetik, Københavns Universitet.
Foto: Michael Schlosser

MATEMATIKERE KORTLÆGGER MENNESKETS FORHISTORIE



Matematikere, statistikere og bioinformatikere fra Københavns- og Aarhus Universitet er i færd med at udvikle de redskaber, som skal gøre DNA-fund endnu mere brugbare i forhold til at kortlægge menneskets forhistorie.

Om forfatteren
Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist
ksjoegren@gmail.com



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

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

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

Siden det moderne menneske opstod i Afrika for 200.000 år siden, har vi spredt os ud over hele kloden. Vores forfædre vandrede op gennem Europa, østover til Asien og fra nord til syd i Amerika. De krydsede udtørrede stræder og tilfrosne have og besteg bjerge og vandrede på tværs af uendelige ørkener for at komme frem til nye og forunderlige verdner, hvor ingen mennesker nogensinde havde sat deres fødder for.

Undervejs i vores erobring af kloden stødte vores forfædre både på hinanden og på vores fjerne slægtninge

i form af blandt andet neandertalerne og denisovanerne. Møderne ledte til både konfrontationer og til sex, og udfaldet af både det ene og andet blev til den mangfoldighed, der er i verden i dag. Vi er alle produkter af disse møder mellem mennesker i fortiden.

Når forskere skal kortlægge vores sammenflettede fortid, forlader de sig ofte på arkæologien. Eksempelvis afslører potteskår, flintesten, våben og deslige, at der har været kontakt mellem det sydlige og nordlige Europa. Men hvis forskere udelukkende kigger på arkæologi-

en, er det svært at sige noget om, hvorvidt mennesker fulgte med de arkæologiske genstande, eller om de bare var handelsvarer. Betyder et fund af et sydeuropæisk bronzealdersværd i Sverige eksempelvis, at folk fra længere sydpå i Europa flyttede til Sverige og tog teknikken til at lave disse sværd med sig, eller blev sværdene i sig selv blot handlet mellem folk fra syd og nord?

For bedre at kunne besvare den slags spørgsmål om vores forfædre er forskere i højere grad begyndt at nærstudere forhistorisk DNA fra flere tusinde år gamle menne-

DNA-analytikere afslører fortidens seksuelle forhold

Det kom som et chok, da forskere fra Max Planck Institutet i Tyskland i 2008 kunne offentliggøre, at de ved hjælp af en DNA-analyse af neandertalerknogler havde fundet ud af, at mennesker og neandertalere havde dyrket sex på et tidspunkt for flere tusinder af år siden, og at nutidens europæere er et produkt af deres elskov. Faktisk blotlagde forskningen senere hen, at moderne mennesker af ikke-afrikansk afstamning indeholder mellem 1 og 4 procent neandertaler-DNA. Opdagelsen pegede også på, at vores forfædres elskovseventyr med deres fjerne slægtninge var sket i Europa. Indtil da havde tankerne om en mulig hybridisering mellem mennesker og neandertalere ellers været forbeholdt det rent spekulative, for der var ingen arkæologiske fund til at understøtte en sådan teori og ingen hulemalerier, der illustrerede det. Indtil da vidste forskere dårligt, om neandertalere og moderne mennesker overhovedet kunne sameksistere. Konsensus var, at vi formentlig bekrigede hinanden, og at disse krige ledte til neandertalernes endelige undergang.

Siden 2010 er udviklingen indenfor analyser af gammelt DNA eksploderet, blandt andet på grund af indsatsen fra forskerne på Center for Geogenetik ved Københavns



Rekonstruktion af neandertalkvinde. Fra PLOS ONE, CC BY 2.5.

Universitet. Vi ved i dag, at vores forfædre ikke bare havde sex og fik børn med neandertalere. Det gjorde vi også med de lidt mere ukendte slægtninge denisovanerne. Derudover har analyser af menneske-DNA og DNA fra vores fjerne slægtninge vist, at vi formentlig har haft sex med hinanden en hel del gange i løbet af de 30.000 år, hvor neandertalere og moderne mennesker levede sammen i Europa og Asien. Rent faktisk bærer asiater rundt på mere neandertaler-DNA end europæere, hvilket tyder på, at moderne mennesker har haft sex med neandertalere både i Europa, og efter forfædrene til alle asiater rejste længere mod øst.

Siden 2010 har udviklingen indenfor analyser af gammel DNA også

kastet nogle meget uventede opdagelser af sig. Eksempelvis kan forskere se spor efter helt andre menneskeslægter, ingen har kendt til eksistensen af, før de blev fundet i vores arvemasse. Vi har altså haft sex og fået børn med andre menneskearter end neandertalere og denisovanerne, men vi har ingen andre spor efter dem end de spor, der findes i vores DNA. Vi har ingen knogler, ingen værktøjer, ingen arkæologiske efterladenskaber. Ingenting. Kun deres DNA. Forskere kalder disse ukendte og uddøde menneskearter for "spøgelser". Et sådant spøgelse finder man blandt andet i arvemassen fra Hadza- og Sandawe-folket i Tanzania. Da dette genetiske spor kun findes i afrikanere og ikke i europæere eller asiater, er konklusionen, at moderne mennesker i Afrika må have dyrket sex og fået børn med denne ukendte menneskeart på et tidspunkt efter det moderne menneskes udvandring fra Afrika for 60.000 år siden. Mens neandertalere altså havde slået sig ned i Europa og Asien, boede der en menneskeart i Afrika efter for 60.000 år siden, som vi aldrig har fundet nogen rester fra end deres DNA. Faktisk tyder forskningen på, at denne ukendte menneskeart levede og fik børn med afrikanerne indenfor blot de seneste 30.000 år.

skeknogler. DNA kan eksempelvis afsløre, om folk oprindeligt kommer derfra, hvor deres jordiske rester bliver fundet. Hvis et skelet, som bliver fundet i Danmark, har DNA, som matcher DNA fra skeletter i Sydtykland, kan forskere konkludere, at personen formentlig er rejst fra Sydtykland til Danmark og har endt sine dage der. Analyser af DNA er et meget præcist værktøj i forhold til at kunne kortlægge både, hvem vores forfædre var, og hvordan de levede. Nu skal forskere fra Københavns Universitet og Aarhus Universitet udvikle nye matematiske redskaber til meget bedre at

udnytte den information, som ligger i vores forfædres DNA.

»Gennem hele vores historie og forhistorie har vi mennesker bevæget os rundt på kloden, hvor vi har mødt hinanden og er gået hver til sit igen. Fossilt DNA er et vindue ind til disse bevægelser, og her vil vi gerne videreudvikle redskaberne til at udnytte DNA'ets fulde potentiale i forhold til at besvare mange af de spørgsmål, som vi stiller os omkring vores forfædre,« fortæller Carsten Wiuf, der er professor ved Institut for Matematiske fag ved Københavns Universitet.

Carsten Wiuf har sammen med kollegaerne Thomas Mailund fra Aarhus Universitet og Anders Albrechtsen fra Københavns Universitet fået en stor bevilling til i løbet af de næste tre år at udvikle matematiske og statistiske værktøjer, som kan tøjle de store mængder genetisk data, der hele tiden vælter op fra jorden.

DNA er arkæologernes nye, stærke våben

Analyser af DNA har allerede kastet forskellige overraskende indsigter af sig, når det gælder vores forfædre. Eksempelvis har



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

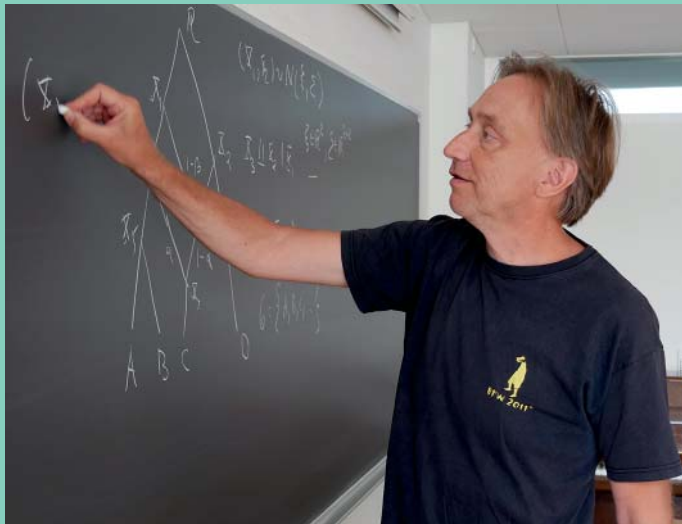


Foto: Jim Høyer

Om forskeren

Carsten Wiuf er professor ved Institut for Matematiske Fag på Københavns Universitet. Han er uddannet fra Aarhus Universitet og har efterfølgende været ansat på University of Oxford, Aarhus Universitet og nu Københavns Universitet med en kortere afstikker til et biotekfirma i Boston. Carsten Wiuf har mere end 100 videnskabelige artikler og en lærebog om populationsgenetik på sit CV.

Han er generelt interesseret i anvendelsen af matematik, sandsynlighedsteori og statistik indenfor de biologiske videnskaber, og hvordan man kan opnå biologisk indsigt ved hjælp af matematiske argumenter. Specielt har han interesseret sig for DNA-evolution og i nyere tid for, hvordan man matematisk kan beskrive cellulære processer.

forskning fra Center for Geogenetik ved Københavns Universitet, der hører til blandt Carsten Wiufs samarbejdspartnere, vist, at skandinavernes karakteristiske lyse hud og lyse hår slet ikke kommer fra den oprindelige skandinaviske jægerstenalder-befolkning, men via senere indvandring fra henholdsvis Mellemøsten i Bondestenalderen og fra stepperne omkring Sortehavet i tidlig Bronzealder. Danmarks oprindelige jægerstenalder-folk var meget mere mørke i huden og i hårets pigmentering, men nutidens blå øjne var også almindelige dengang.

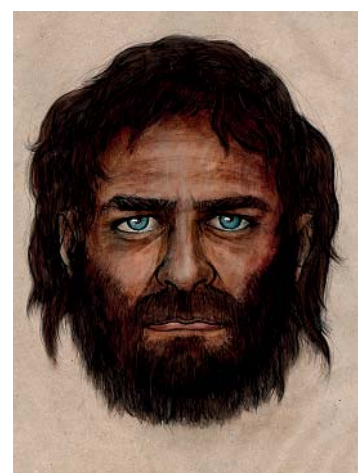
Ved hjælp af forhistorisk DNA kan forskere blive klogere på elementer af menneskets færden i det forhistoriske landskab. De kan ikke se, hvad der skete i fortiden, men de kan danne hypoteser om den og holde genetiske informatio-

ner, de finder i fossilt og moderne DNA, op mod hypoteserne. På den måde kan de forsøge at verificere hypoteserne og danne et billede af, hvordan det forhistoriske landskab har set ud. Hypoteserne opstiller de ved hjælp af modeller, der relaterer befolkningsgrupper til hinanden, og hvordan en befolkningsgruppes genetiske sammensætning er blevet påvirket af andre grupper.

Traditionelt har man i kortlægningen af vores fortid benyttet genetiske stamtræer, hvor en given befolkningsgruppe bliver splittet op og bliver til to nye grene på stamtræet, der igen splitter og bliver til flere grupper og så videre. Slægtslinjerne forgrener sig som grenene på et træ. Denne forgrenede repræsentation af vores forhistorie inddrager dog slet ikke interaktioner mellem befolkningsgrupper og den påvirkning, det har

haft på vores arvemateriale. Det er derfor en alt for simpel hypotese. Eksempelvis efterlod romerne et genetisk aftryk på de britiske øer under den romerske besættelse fra år 43 til 410. Det samme gjorde vikingerne 500 år senere, da vores forfædre sejlede over Nordsøen og besatte det område, som senere kom til at hedde Danelagen. Gener fra både nord, syd, øst og vest er i hele verden blevet blandet i én vild forvirring, men det fanger stamtræsmodellen ikke.

Målet med Carsten Wiufs forskning er at udvikle matematiske og statistiske værktøjer, der rækker ud over stamtræsmodellen og gør grundlaget for at udtale sig om fortiden bedre, så forskere med større sikkerhed kan konkludere, hvad der er sket, siden det moderne menneske udvandrede fra Afrika for 200.000 år siden for derefter at kolonisere alt fra ørken og regnskove til øer og iskolde tundraer. Hvem mødtes med hvem, og fik de børn sammen? Gik de hver til sit, og hvor gik de hen bagefter? Hvem har vandret længst, og hvor lang tid tog det? Hvem har ikke haft eventyr i blodet, men er bare blevet boende? Kan vi få svar på de spørgsmål, vil det være med til at danne et mere komplet



Tegning af en tidlig jæger-samler fra Spanien, som deler udseende (hudfarve, øjenfarve, hårfarve) med de tidligste danskere. Den lyse hud og lyst hår er siden kommet hertil med tilflyttere fra Mellemøsten og fra stepperne omkring Sortehavet. Tegning: Spanish National Research Council (CSIC).

billede af, hvem vi er i dag, og hvor vi kommer fra.

»Indtil videre har forskningsfeltet været særdeles succesfuldt, men vi vil gerne bibringe forskningsfeltet et endnu bedre matematisk grundlag for at beskrive menneskets demografiske historie i langt højere rumlig og tidslig opløsning, end det er muligt i dag,« forklarer Carsten Wiuf.

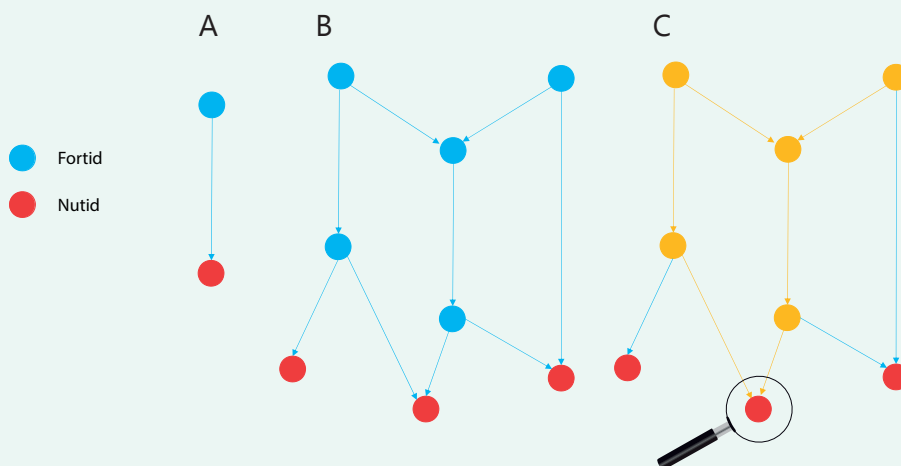
Vil skabe bedre matematiske værktøjer til at forstå fortiden

Carsten Wiufs forskning kan opdeles i tre stadier.

- For det første skal han sammen med sine kollegaer udvikle de matematiske og statistiske redskaber, som skal forløse projektets ambitiøse mål.
- For det andet skal de matematiske værktøjer valideres på allerede eksisterende viden.
- Til sidst, men ikke mindst, skal de matematiske værktøjer benyttes til at skabe helt nye indsigter i vores forfædres gøren og laden.

»Vi har brug for en model, der relaterer DNA til geografi og tid. Befolkningernes genetiske sammensætning ændrer sig som følge af geografisk adskillelse og tid, og det skal repræsenteres i modellen. Mere har vi ikke brug for, hvis vi har de rigtige redskaber til at analysere data,« siger Carsten Wiuf.

Tid, DNA og geografi er netop grundlaget for de matematiske metoder, som Carsten Wiuf er ved at konstruere. Metoderne er baseret på såkaldt grafteori, der benyttes stort set inden for alle områder af matematikken til at beskrive sammenhænge mellem forskellige objekter, i dette tilfælde befolkningsgrupper, der påvirker hinandens arvemasse. De mange påvirkninger fra andre folkefærd bliver indlagt i forskernes grafmodel, så Carsten Wiuf kan se, hvordan folkefærd A har påvirket arvemassen for folkefærd B, hvordan folkefærd C har påvirket folkefærd A og så videre. Det hele bliver konstrueret



A. Evolution af en befolkning over tid. Denne graf repræsenterer en klassisk måde at illustrere evolution på som en lineær tidslinje.

B. Evolution af flere befolkninger over tid. Enkelte befolkninger splitter sig op i mindre befolkninger og andre befolkninger mødes og danne nye befolkninger. Den genetiske sammensætning af de moderne befolkninger afhænger af, hvilke andre befolkninger der er blevet blandet i og hvornår.

C. Den markerede, moderne befolknings genetiske sammensætning afhænger af den del af grafen, der vedrører denne befolkning, illustreret med orange farve.

i et netværk i tid med pile mellem de forskellige folkeslag. Pilene indikerer påvirkning af den ene eller anden art, og pilene konstrueres ud fra de genetiske data, som Carsten Wiuf kan få fingrene i.

»Grafer er nemme at forstå visuelt og intuitivt. Vi repræsenterer den biologiske verden ved hjælp af en graf. Dermed ekstraherer vi fra den biologiske verden til den matematiske verden,« forklarer Carsten Wiuf.

Sådan virker grafteori

Kigger vi på, hvad en graf er, skal du forestille dig en masse knuder, der er forbundet med pile. Knuderne illustrerer befolkningsgrupper, og stregerne illustrerer, hvordan befolkningsgrupperne er forbundet over tid. Den mest simple version af en graf er to knuder, der er forbundet af én pil. Det vil

i Carsten Wiufs model illustrere, at én befolkningsgruppe har udviklet sig til én anden over tid. Det kan som eksempel være den danske befolkning i år 1000, der sidenhen har udviklet sig til den danske befolkning i år 2000. Til knuderne knytter forskerne variable, der beskriver befolkningernes genetiske sammensætning. Det vil i eksemplet sige, at der vil være én variabel, der beskriver befolkningens genetiske sammensætning i år 1000, og én, der beskriver det samme i år 2000.

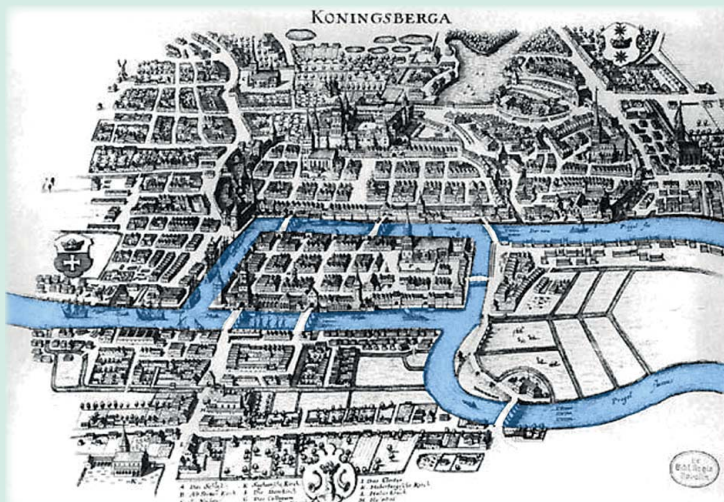
»Fra vikingetiden til i dag er der sket nogle genetiske ændringer i danskernes samlede genetiske sammensætning. Det kan være, at der er flere rødhårede i dag, end der var dengang, og det kan man se i den genetiske sammensætning i hele befolkningen. På den måde har den danske genetiske

Historien om grafteori

Fundamentet for moderne grafteori blev allerede grundlagt i 1736, da den schweiziske matematiker Leonhard Euler forsøgte at tackle det matematiske problem, der er kendt som de syv broer i Königsberg. Königsberg i det nuværende Rusland lå på begge sider af floden Pregel, hvori der også lå to små øer. De to øer og resten af byen på begge sider af Pregel var forbundet med syv broer, og det matematiske problem bestod i at designe en gåtur gennem byen, hvor man kun ville krydse hver bro én gang. Samtidig skulle man ende det samme sted, som man satte ud fra, og hvis man kom til en bro, skulle man også krydse den. Euler beviste matematisk, at det slet ikke kunne lade sig gøre at designe sådan en gåtur.

I sin matematiske tilgang til problemet opfandt Euler de første dele af det, som senere udviklede sig til grafteori. For at visualisere problemet abstrakt, omdannede han alle landmasserne, om det så drejede sig om øer eller flodbredder, til knuder og broerne til kanter (pile). Pilene havde formålet at illustrere, hvilke knuder der sad sammen med hinanden, og konstruktionen blev til det, som vi i dag kalder for en graf.

Siden Eulers indledende arbejde har mange matematikere videreudviklet grafteori, og selve ordet "graf" opstod først i 1878. Den første



De syv broer i Königsberg.

tekstbog om grafteori blev udgivet i 1936.

De modeller, Carsten Wiufs projekt anvender, går under navnet grafiske



Leonhard Euler malet af Jakob Emanuel Handmann i 1753.

modeller og knytter en graf til en statistisk model med variable knyttet til hver knude i grafen. Grafen i sig selv afspejler delvist, hvordan variable er knyttet sammen, at der er en direkte sammenhæng mellem knuder forbundet med en pil og en mindre direkte sammenhæng mellem knuder, der er mere adskilt i grafen.

Matematisk benytter forskeren populationsgenetiske modeller til at beskrive sammenhængen mellem variable i den grafiske model. På den ene side beskriver de, hvordan en befolknings genetiske sammensætning ændres over tid, og på den anden side beskriver de, hvordan den genetiske sammensætning ændres i mødet mellem to eller flere befolkningsgrupper.

sammensætning ændret sig over tid,« forklarer Carsten Wiuf.

Illustrerer man danskernes genetiske udvikling som en graf med en pil mellem to knuder, har man dog ikke taget højde for, at der har været udefrakommende indflydelse på vores arvemasse. Så er ændringen blot sket vilkårligt, måske fordi rødhårede har fået flere børn og dermed sætter et større aftryk i den genetiske sammensætning i dag end i vikingetiden.

Menneskers gøre og laden er dog sjældent så simpel, at én befolkningsgruppe blot er blevet til én anden over tid, og at man kan illustrere eksempelvis danskernes genetiske udvikling som to knuder med én pil imellem dem. Tværtimod er den danske genetiske sammensætning formentlig påvirket af genetisk input fra mange andre folkeslag rundt om i Europa og i dag også fra resten af verden. Derfor skal der mange flere knuder til at repræsentere, hvordan vores gene-

tiske sammensætning er påvirket af genetisk input fra svenskere, tyskere, østeuropæere, sydeuropæere, afrikanere, asiater og så videre. Hver befolkningsgruppe repræsenteres i grafen med hver deres knude, og hver knude er forbundet til andre knuder, hvis der har været en påvirkning den ene eller den anden vej eller måske begge veje.

Grafen kan også benyttes til at illustrere, hvordan helt nye befolkninger er opstået. Forestil dig

to knuder, en blå og en rød, der repræsenterer to folkeslag, som mødtes på et eller andet tidspunkt på en slette i det forhistoriske landskab. Disse to befolkningsgrupper smeltede måske sammen over tid (illustreret ved pilene) og blev til en helt tredje befolkningsgruppe, hvilket betyder, at den tredje befolkningsgruppes genetiske sammensætning er opstået ved at blande rød og blå. Vi kan repræsentere det som en grøn knude. På et senere tidspunkt i forhistorisk tid delte denne grønne befolkningsgruppe sig måske i to, hvor den ene del af gruppen rejste den ene vej, mens den anden rejste den anden vej. Derved er der i vores graf opstået to helt nye knuder fra den grønne knude. Disse to befolkningsgrupper har måske haft indflydelse på en femte og en sjette befolkningsgruppe og så videre, og på den måde udvides netværket af knuder og pile i grafen hele tiden, jo flere koblinger mellem befolkningsgrupper man genetisk kan lave. Med til historien hører også, at de røde og blå knuder kan blandes på mange måder, hvor større eller mindre

dele af den grønne knude kom fra dem hver især.

Vil låne fra andre grafteoretiske værktøjskasser

Forskere har benyttet grafteori i mere end 100 år. Carsten Wiufs forskning går da heller ikke ud på at tegne graferne, men at udvikle på de matematiske modelværktøjer, der baserer sig på grafteori. Bag illustrationen af befolkningsgrupperes genetiske sammenhænge foregår en masse matematik og statistik, som benyttes i analysen af DNA-data. Disse analyser kan forskerne benytte til at be- eller afkræfte forskellige teorier omkring sammenhænge i graferne.

Graferne vil Carsten Wiuf kombinere med populationsgenetiske modeller, der beskriver ændringer i en populations genetiske sammensætning, og på den måde lave en helt ny gruppe af stærke matematiske værktøjer til at analysere på vores forhistoriske færd.

»Vores matematiske værktøjer skal gerne gøre os i stand til bedre at konkludere på forskellige fund. Man

kan forestille sig, at vi eksempelvis analyserer på en sammenhæng mellem to befolkningsgrupper. Måske har vi i grafen tegnet en pil, fordi vi har haft en hypotese om, at to befolkningsgrupper har haft noget med hinanden at gøre, men når vi kigger på den genetiske sammensætning i de to grupper og analyserer på dem med vores matematiske værktøjer, kan vi måske konkludere, at sammenhængen slet ikke er der, og pilen skal fjernes. Måske fandt en befolkningsvandring slet ikke sted,« forklarer Carsten Wiuf.

Carsten Wiuf fortæller også, at han i forskningen vil kigge på de andre anvendelser af grafteori og se på, hvilke greb de underliggende matematiske værktøjer har fat i og måske låne fra dem.

»Når vi prøver at besvare spørgsmål med grafteori, har vi en hel masse matematiske værktøjer, der er udviklet i andre sammenhænge, at trække på, og de kan forhåbentlig gøre os i stand til at komme med endnu bedre forklaringer på genetiske sammenhænge,« siger han. ■

Videre læsning:
Samuele Soraggi and Carsten Wiuf: General Theory for stochastic admixture graphs. *Theor. Popul. Biol.* 2019, 125:56-66.

Nick Patterson, Priya Moorjani, Yontao Luo, Swapan Mallick, Nadin Rohland, Yiping Zhan, Teri Genschoreck, Teresa Webster and David Reich: Ancient admixture in human history. *Genetics* 2012 vol. 192, no. 3, 1065-1093



sdu.dk/ing #sduing

SKAL DINE ELEVER PRØVE AT VÆRE INGENIØRSTUDERENDE FOR EN DAG?

Din elev følger en af vores ingeniørstuderende gennem en hel dag, deltager i undervisningen og i projektarbejdet. Eleven får en rundvisning på Det Tekniske Fakultet, ser laboratorier og vores andre spændende, innovative faciliteter. Dagen giver et indblik i at studere på ingeniøruddannelserne, og eleven får mulighed for at spørge vores studerende om alt fra det faglige til det sociale.

Målet er at give dine elever forudsætningerne for at tage et kvalificeret studievalg. Vores studievejleder står ligeledes til rådighed på dagen.

Eleven laver selv besøgsaftalen. Studerende for en dag afholdes i februar-maj og september-december.

Mere information og tilmelding:
www.sdu.dk/tek/studerendeforendag

Find vores forskellige ingeniøruddannelser på:
www.sdu.dk/ing

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



KØBENHAVNS UNIVERSITET

FORDI DIT STUDIEVALG KRÆVER GOD TID

Det kræver tid og fordybelse at finde den rigtige uddannelse. På Københavns Universitet har du masser af muligheder for at blive klogere på de naturvidenskabelige uddannelser, inden du træffer dit valg.

Du kan blandt andet:

- Tage et Uddannelsestjek
- Gå i 3-dages studiepraktik
- Blive studerende for en dag
- Besøge os med din klasse
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores uddannelser
og dine muligheder på

science.ku.dk/ba

Læs på SCIENCE

@scienceku

BØGER



FAKTA

Jens H. Petersen og
Thomas Læssøe:

*Nordeuropas
svampe 1-2.*
Gyldendal
2019. 1650
sider, 899,95
kr.

Nordeuropas svampe 1+2

Nordeuropas svampe er med sine 1650 sider det hidtil mest omfattende europæiske værk om svampe for den brede offentlighed. De to bind behandler over 2.800 svampearter med over 10.000 billeder og beskrivelser af de enkelte arter inklusive forvekslingsmuligheder. Værkets svampe er opdelt i mere end 80 let forståelige svampegupper. Hver af disse starter med et nydesignet bestemmelseshjul, der gør det muligt at overskue gruppens slægter og vælge det rigtige opslag i bogen.



FAKTA

Gunver Lystbæk

Vestergaard:

Fjerne kloder.
Gyldendal
2019. 256 sid-
er, 299,95 kr.

Fjerne kloder

Indtil for få år siden var liv udenfor vores Solsystem noget, man kunne drømme om og skrive om, men ikke forske i. I dag er det helt anderledes. Siden videnskaben i 1995 fandt den første planet omkring en anden stjerne end Solen, ved vi meget mere om, hvad der foregår i galaksen. *Fjerne Kloder* er den første bog på dansk om disse fjerne planeter – exoplaneterne – og de erkendelser videnskaben i øjeblikket gør sig om jordlignende planeter og liv i rummet.

FAKTA

Bo Poulsen:
Stormflod.
Aarhus
Universitets-
forlag 2019.
100 sider,
100 kr.

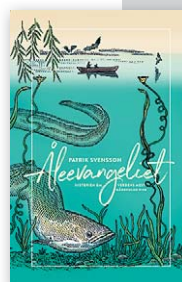


Stormflod

I bogen *Stormflod* tager professor i moderne historie ved Aalborg Universitet Bo Poulsen læseren med til en af danmarkshistoriens største naturkatastrofer, stormfloden i 1825. Dengang brød havet igennem Agger Tange og ændrede livet ved Limfjorden – både naturens liv og menneskenes. Bogen er det 24. bind i serien 100 danmarkshistorier fra Aarhus Universitetsforlag.

FAKTA

Patrik
Svensson:
*Åleevange-
liet.* Gads
forlag 2019.
268 sider,
299,95 kr.



Åleevangeliet

Åleevangeliet er en bog om verdens mest gådefulde fisk. I dag er store dele af ålens liv stadig et mysterium. En fisk, som Aristoteles, Sigmund Freud og mange andre forgæves har forsøgt at forstå. I dag er ålen på listen over truede dyr. Men *Åleevangeliet* er også en bog om forfatteren den svenske journalist Patrik Svensson – og hans far, og om hvordan ålen knyttede dem sammen.

FAKTA

Richard Dawkins
og Yan Wong:
*Vores forfædres
fortælling.*
Oversat af
Lotte Follin.
Gyldendal
2019. 880 sider,
349,95 kr.



Vores forfædres fortælling

Den engelske evolutionsbiolog Richard Dawkins har sammen med kollegaen Yan Wong skrevet et stort værk, der fortæller om vores slægtskab med alt liv og om alle de dybe indsigter, vi har fået fra vores forståelse af evolution.

Kender du

AARHUS UNIVERSITETS OFFENTLIGE FOREDRAG I NATURVIDENSKAB?



Oplev foredragene
via livestream mere
end 150 steder
- se hvor på
ofn.au.dk



08. okt
19-21 **På rumkrydstogt ud i Solsystemet**
Af astrofysiker Hans Kjeldsen

22. okt
19-21 **Snedige bakterier**
Af mikrobiologerne Rikke Louise Meyer
og Lars Peter Nielsen

29. okt
19-21 **Viden om vand**
Af kemiker Søren Rud Keiding

05. nov
19-21 **Mennesker i klimaets brændpunkter**
Af Lars From, Klaus Dohm
og klimaforsker Sebastian Mernild

12. nov
19-21 **Hvordan is og vand dannede Danmark**
Af geofysiker David L. Egholm
og geolog Nicolaj Krog Larsen

19. nov
19-21 **Forædling af mennesket - før og nu**
Af zoofysiolog Tobias Wang

26. nov
19-21 **Luften vi indånder**
Af kemiker Marianne Glasius
og miljømediciner Torben Sigsgaard

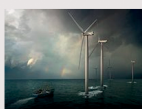


Undervisningsmaterialer

Nye opgaver

Stort forløb om grøn omstilling

Forslag til en lang række artikler fra Aktuel Naturvidenskab og andre materialer, der kan anvendes i et forløb om grøn omstilling. De udarbejdede arbejdsopgaver og det tilhørende materiale har primært en fysikfaglig vinkel, men flere af artiklerne vil også kunne finde anvendelse i fagene naturgeografi og kemi.



Se oversigten over forløbet om grøn omstilling

Udarbejdet af Dennis Nielsen & Michael Lund Christensen, begge Favrskov Gymnasium, for Aktuel Naturvidenskab.

Fag: Fysik, Naturgeografi, Kemi og Naturvidenskabeligt grundforløb.

Arbejdsark om biobrændstoffer

Arbejdsark til artiklen: Omvendt fotosyntese. Artiklen kræver kendskab til enzyms funktion og fotosyntesens biokemi. Artiklen kan fx anvendes i forløb om biobrændstoffer, enzymer eller fotosyntesens biokemi.



Udarbejdet af Lone Als Egebo, Ege-bøger.

Fag: Bioteknologi A og biologi A.

Hent arbejdsarket om biobrændstoffer (word-fil).

For dig, der underviser i et naturvidenskabeligt fag i gymnasiet, er der masser af inspiration at hente på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Her kan du finde forløb, arbejdsark og quizzer, der bygger på en lag række tidløse artikler i Aktuel Naturvidenskabs arkiv. Netop nu er der flere end 90 specifikke opgavesæt om et væld af naturvidenskabelige emner som evolution, økologi, fødevarer, fotosyntese, naturkatastrofer, neutrinoer, biobrændstoffer, medicinsk fysik, nervesystemet, fremstilling af kemikalier, naturvidenskabelig metode og meget, meget mere.

Materialerne er tænkt som et supplement til lærebøgerne og en let måde at inddrage artikler med eksempler på aktuel, dansk forskning i undervisningen. Materialerne kan downloades som pdf eller wordfiler, så du let kan klippe de dele ud, du har brug for.

Både artikler og undervisningsmaterialerne er frit tilgængelige.

Hovedparten af materialerne samt quiz-app'en er lavet som led i projektet Aktuel Naturvidenskab i gymnasiet finansieret af VILLUM FONDEN.

ABONNEMENTS-SERVICE

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

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

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

Til nye abonnenter:

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

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

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

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 Dalggaard, 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:

Råstoffer som sand og grus er en begrænset ressource.
Foto: Shutterstock.

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

Intelligent stavekontrol

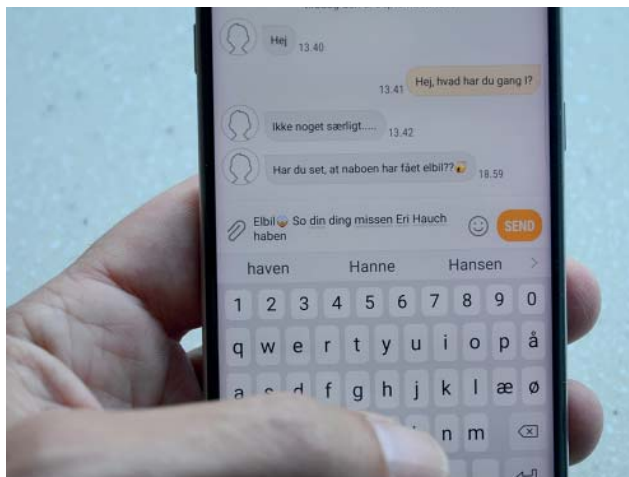
Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Havde det ikke været for de stavekontroller, der i dag er bygget ind i enhver smartphone, var det ikke godt at vide, hvor mange af de millioner af beskeder, som danskerne hver dag sender til hinanden, der reelt vil være læselige. Men på et punkt fejler selv den mest avancerede stavekontrol i dag. Og det er, hvis man formaster sig til at skrive ord eller sætninger på et andet sprog end det, smartphonen er indstillet til. Hvis jeg for eksempel får lyst til at udslynge sætningen "So ein ding müssen wir auch haben" midt i mine skriverier, retter min smartphone herligheden til "So din ding missen Eri Hauch haben". Og så føler jeg mig alle teknologiske forbedringer til trods hensat til fordums tid, hvor Words stavekontrol insisterede på, at mit mellemnavn burde være "Råbuk" og ikke "Rabæk".

En intelligent stavekontrol ville altså ikke på samme måde lade sig narre af, at brugeren skifter sprog, og ville både kunne afsløre, om det indsatte, udenlandske ord er korrekt stavet og oversætte det, hvis ønsket. At lave en sådan stavekontrol er selvfølgelig lettere sagt en gjort! Ikke desto mindre er det netop et sådant værktøj Peter Schneider-Kamp, der er professor ved Institut for Matematik og Datalogi på Syddansk Universitet, har tænkt sig at udvikle sammen med adjunkt Isabelle Augenstein fra Københavns Universitet, virksomheden Ordbogen.com samt penge fra Innovationsfonden.

Sproghjerne med kunstig intelligens

Men hvorfor er det populært sagt så svært at lære en stavekontrol "fremmedsprog"? Peter Schneider-Kamp forklarer:



Smartphone med en knap så smart intelligent ordbog. Foto: Carsten R. Kjaer.

»Digitale ordbøger bygger på statistik. Man har simpelthen scannet tusindvis af bøger og registreret, hvilke ord der oftest optræder efter hinanden på et givent sprog. Herefter kan den digitale ordbog bedre foreslå et ord, hvis du laver en stavfejl – simpelthen fordi den ved, hvilke ord der passer sammen. I sagens natur kan denne tilgang ikke direkte bruges til dokumenter, hvor forskellige sprog blandes sammen, da ordbøgerne er enkeltsproglige. En kunstig intelligens, der kombinerer maskinoversættelse med viden om, hvilke ord der passer sammen er en indlysende tilgang til problemet. At lave sådan en kunstig intelligens er dog mere indviklet end bare at sætte to eksisterende moduler sammen – det er faktisk nødvendigt med en udvidelse af den nuværende forskningshorisont.«

Skal skelne advokaten fra skoleeleven

Hvad det helt konkret indebærer at skulle udvide den nuværende forskningshorisont, kan man ifølge Peter Schneider-Kamp dårligt ud-

dybe uden at blive meget teknisk. Men en af udfordringerne er, at sproghjernen, udover at tage højde for stavfejl og forskellige sprog, også skal kunne tage højde for, at ord kan opfattes forskelligt af forskellige faggrupper.

»Ord kan have forskellig betydning ud fra deres sammenhæng, og dette bliver ekstra vigtigt, når vi har med sammenblandede sprog at gøre, da for eksempel synonymer og værdiladning er forskellig på tværs af sprog. Vores værktøj skal derfor kunne skelne mellem, om det er en advokat eller en folkeskoleelev, der bruger det,« forklarer Peter Schneider-Kamp.

Planen er, at *Write assistant*, som den nye sproghjerne hedder, vil blive det næste store produkt, som Ordbogen.com vil tilbyde deres kunder. Forskernes opgave er dermed "blot" at udvikle nogle bedre modeller, der skal gøre dette muligt. Og hvis alt går efter planen, vil den første version af herligheden være klar til brug om 3 år. ■