NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL naturVIDENSKAB

TEMA OM PHOSPHOR

– den globale udfordring
– genbrug fra spildevand

Uran – forskernes nøjagtige ur
Fødselsmønstre i et moderne samfund
Opgør med brug-og-smid-væk kulturen

NR.5 - 2019 NOVEMBER. 50 KR.

Biologens fornemmelse for formål

Når man underviser i eller formidler biologi populært er det let at falde i den fælde at snakke som om, der er et formål med enhver struktur eller proces.

»*For biologen er telelogi som en elskerinde; han kan ikke leve foruden, men ses nødigt med hende i offentligheden*«. Ophavsmanden til dette lettere daterede udsagn forbliver omdiskuteret – mange tilskriver det den britisk-indiske videnskabsmand J.B.S Haldane (1892-1964), mens andre kilder peger på den tyske fysiolog Ernst von Brücke (1819-1892). Citatets oprindelse og dets mulige politiske ukorrekthed er dog ikke vigtigt i denne sammenhæng; i stedet ønsker vi at fokusere på den betagende elskerinde – eller elsker – som biologerne øjensynligt har et noget uafklaret forhold til, nemlig telelogien. Hvad er det for en kanut?

Lad os illustrere det med følgende eksempel, som stammer fra en større skriftlig eksamensopgave den ene af denne artikels forfattere for nylig har modtaget:

”For at bevare energibalancen regulerer kroppen konstant de forskellige hormoner op og ned i løbet af dagen, og sørger for, at vi spiser nok uden at blive overvægtige”.

I denne udlægning beskriver den studerende ikke bare nogle specifikke mekanismer i energistofskiftet, men lægger også vægt på, at der er et bestemt formål med arrangementet – nemlig at sørge for balance, så vi får nok at spise uden at blive overvægtige. Dermed bliver svaret et telologisk udsagn.

En besnærende fælde

Ordet telelogi er afledt af det græske *telos,* der betyder formålsbestemt, og indenfor naturvidenskaben bliver et telelogisk argument derfor typisk en forklaring, der tager udgangspunkt i at finde et formål. Heri ligger det centrale problem for biologien, for vi ved jo, at evolutionen ikke er formålsrettet, men tilfældig; ændringer i arvematerialet opstår tilfældigt, og den naturlige selektion bestemmer – helt uden formål – hvilke gener (og dermed karakterer) der føres videre til den kommende generation. Men fordi levende organismer tilsyneladende fremstår så perfekt tilpassede til den verden, hvori de lever, kommer vi ofte til at fortolke alle funktioner og strukturer som værende udtryk for tilpasninger, der tjener et bestemt formål.

↑ Tobias Wang er biolog og professor i zoofysiologi ved Aarhus Universitet. tobias.wang@bios.au.dk

Carsten R. Kjaer er geolog og redaktør ved Aktuel Naturvidenskab. crk@au.dk

Når netop liv umiddelbart kan synes så rigt på formål, er det passende at betegne telelogien som en hemmelig elskerinde/elsker for biologen, mens fysikeren, kemikeren eller geologen har nemmere ved at forblive tro mod en tolkning af naturen, der ikke inkluderer formål. Selv for erfarne biologer som den ene af denne artikels forfattere er det ikke spor svært at falde i telelogiens besnærende fælde og i en undervisningssituationen komme til at bruge uheldige formuleringer, om at et organs rolle er at hjælpe organismen med en bestemt funktion. Og i populær formidling kan den slags formuleringer synes oplagte til at gøre et teknisk emne mere appellerende og vedkommende. Ikke desto mindre slår vi hårdt ned på telelogiske formuleringer i en eksamenssituation.

Hvad er der på spil?

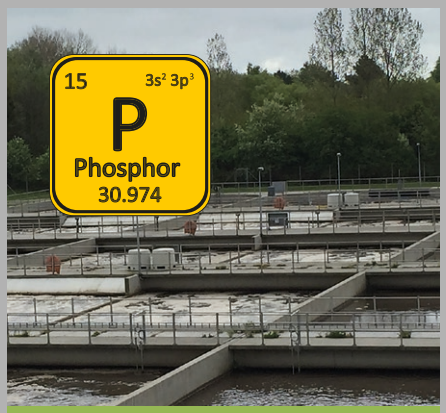
I virkeligheden kan ethvert telelogisk udsagn oftest meget let omskrives til neutral ikke-telelogisk form og vice versa. Derfor kan man måske hævde, at denne diskussion er pedantisk ordkløveri. Problemet er, at når man støder på et telelogisk udsagn i eksamensbesvarelser eller populærvidenskabelige artikler, kan man ikke vide, om afsenderen rent faktisk mener, at der er et formål, eller om formuleringen blot er en populær fremstilling, der skal fremme forståelsen. Det er muligt, at forfatteren er dybt inde i den filosofiske diskussion om telelogi og har valgt sine ord med den største omhu. Men vi er dog sikre på, at der i langt de fleste tilfælde er tale om, at man bare ikke har skænket det en tanke. Når det har betydning, hvilke ord vi bruger, er det selvfølgelig fordi, der på et dybt forståelsesmæssigt plan er enorm forskel på, om man mener, der er et formål bag en given proces, eller om den er et resultat af den blinde evolution gennem naturlig selektion og fysisk-kemiske lovmæssigheder.

I Danmark vil mange sikkert trække på skuldrene af denne diskussion. Andre steder er der mere på spil. I flere stater i USA står der en strid kamp om pensum i skolernes biologiundervisning, hvor religiøse kræfter mener, at skabelsesberetningen skal indgå på lige fod med evolutionsteorien. Hvis man som biolog og evolutionstilhænger ganske ukritisk bruger telelogiske argumenter i et sådant miljø, spiller man gode kort i hænderne på sine modstandere. For tilhængere af skabelsesberetningen har ingen problemer med formålsbestemte processer i biologien. Faktisk er deres argument netop, at fordi der tydeligvis er sådanne formål, må der også være en “designer” bag. ■

indhold

I dag påvirker vi selv vores fødselsmønstre. Der bliver født markant færre børn på helligdage og i weekenderne. Derudover er der i Danmark og ude i verden en kraftig variation hen over året. Men nogle gange ryger planlægningen.

8

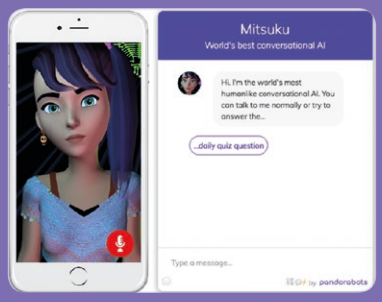


Tema om phosphor
I tre artikler sætter vi fokus på den globale phosphor-udfordring og nye metoder til at genindvinde phosphor fra spildevand, så det kan genbruges.

16

Forholdet mellem to isotoper af uran kan give forskere et meget mere nøjagtigt indblik i begivenheder i forhistorisk tid. Forskere fra Københavns Universitet har finjusteret datering med uran, så de nu med endnu større nøjagtighed er i stand til fx at datere dannelsen af Månen.

30



Sociale chatbots bliver mere og mere avancerede. Men bliver de også mere og mere menneskelignende i den forstand, at de kan udvise empati?

35

FORSKNING OG NYHEDER

4 Kort Nyt

8 Hvornår får vi børn? – en historie om fødselsmønstre i et moderne samfund

12 Giv os retten og muligheden for at reparere tilbage!

Tema om phosphor

16 Den globale phosphorudfordring

21 Genindvinding af phosphat fra spildevand

26 Bakterier fjerner phosphat fra spildevand

30 Uran sladrer om alt fra solsystemets fødsel til dinosaurernes uddøen

35 Udviser sociale chatbots empati?

PERSPEKTIV - DEBAT

2 SYNSPUNKT: Biologens fornemmelse for formål

38 Aldrig mere alene

44 BAGSIDEN: En verden uden Amanda

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

SDU
DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET

SDU
DET TEKNISKE FAKULTET

Roskilde Universitet

SPONSOR-ABONNENTER

GRUNDFOS

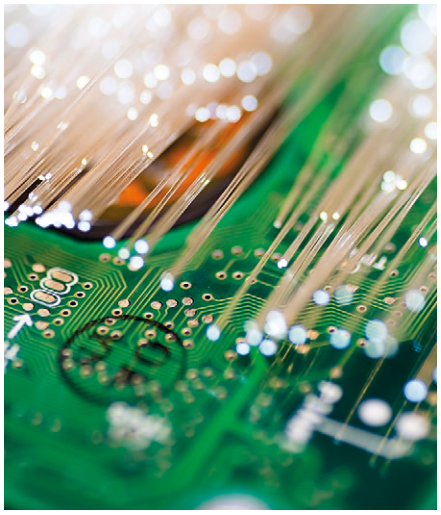
novo nordisk®

Laserlys forvandler metal til magneter

Normalt går man ud fra, at mange metaller har de egenskaber, de nu engang har, fordi deres atomer er arrangeret på en bestemt måde på nanoskalaen. Atomernes struktur bestemmer for eksempel, om et materiale fungerer godt som elektrisk ledning, og om det er magnetisk eller ej. Skal man ændre på et materiales iboende egenskaber, sker det hovedsageligt med brug af kemi.

Men nu har to forskere fra henholdsvis Københavns Universitet og Nanyang Technological University i Singapore opdaget et helt nyt fænomen, som de beskriver i tidsskriftet *Nature Physics*. Nemlig, at et metal er i stand til at forvandle sig selv indefra og pludselig opnå egenskaber, som det ikke havde i forvejen, hvis det bliver bestrålet med laserlys.

»Vi kan nu ændre egenskaberne med lys, der kommer udefra, men vi kan også få materialet til at forandre sig selv indefra og overgå til en ny fase med helt nye egenskaber. Det får så at sige sit "eget liv". I dette tilfælde



Opdagelsen kan måske finde anvendelse inden for opto-elektronik, som man for eksempel bruger i fiber-internet. Foto: Colourbox.

ændrer et ikke-jernholdigt materiale sig til pludselig at blive en magnet,« siger lektor Mark Rudner fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet.

Det er de såkaldte plasmoner (en type elektronbølger) i materialet, som forskerne bruger til at ændre materialets egenskaber. Når materialet bliver bestrålet med laserlys, begynder plasmonerne inde i metalskiven at rotere enten i eller imod urets retning. Men idet plasmonerne ændrer materialets båndstruktur, ændrer det samtidig plasmonerne selv og sætter et feedback-loop i gang. Feedback fra plasmonernes indre elektriske felter får plasmonerne til at bryde deres symmetri, og det udløser en ustabilitet, som gør metallet magnetisk.

Ifølge Mark Rudner er princippet for eksempel anvendeligt i tilfælde, hvor man har brug for, at et materiale nogle gange er magnetisk og andre gange ikke. Et andet område, hvor det kan være meget anvendeligt er i opto-elektronik – altså kombinationen af lys og elektronik, som man for eksempel bruger i fiber-internet og i udvikling af sensorer.

Maria Hornbek, Københavns Universitet.

Satellitter mod ammoniak

For femte år i træk stiger udledningen af ammoniak i Danmark og det øvrige EU. Ifølge Miljøstyrelsen står landbruget for 97 % af den danske forurening med ammoniak, som er et stort miljø- og sundhedsproblem. I luften omdannes ammoniak til partikler, som er skadelige for mennesker. Samtidig fører ammoniak til algeopblomstringer og iltsvind i vandområder.

» Der skal gøres noget,« tænker ph.d.-studerende Simon Vilms Pedersen fra SDU Biotechnology, som er kommet på den idé at sætte satellitter ind i kampen mod ammoniak ved at overvåge fordampning fra markerne.

Han har udtænkt et system, hvor satellitters data om ammoniakfordampning og vejrforhold giver den enkelte landmand præcis information om, hvornår og hvor meget gylle han skal sprede, for at formindske udledning af ammoniak. Ideen er så banebrydende, at Simon Vilms Pedersen modtager prisen *Space for Sustainability Award* fra ESA, Det Europæiske Rumfartsagentur – en pris der uddeles årligt for at opmuntre til innovative

Simon Vilms Pedersen, som har modtaget *Space for Sustainability Award* fra ESA. Foto: Lars Skaaning.

og kreative ideer, hvor rummet bidrager til bæredygtig udvikling til gavn for samfundet.

» I dag måler man ammoniakudledning på forsøgsgårde rundt om i landet, og jeg har set, at man ved at gøre brug af målingerne kan minimere udledningen. Tænk hvis alle landmænd fik samme præcise information om deres marker – og den information kan vi skaffe til hver enkelt landmand via satellitterne,« påpeger Simon Vilms Pedersen.

Det er langt fra ligegyldigt hvornår, eller hvor meget gylle, landmanden spreder på marken. Jordtype, pH-værdi og vejr har stor indvirkning på, hvor meget ammoniak, der udledes. Derfor tror Simon Vilms Pedersen, at informationen vil hjælpe landmandens arbejde.

» Jeg vil blive ked af, hvis landmænd ser det som overvågning af deres marker. Moderne landmænd bruger i forvejen it-systemer til at optimere produktionen. Data om ammoniakfordampning er blot et ekstra parameter, som kan hjælpe landmanden til at få det optimale ud af næringsstofferne i gyllen samtidig med, at naturen ikke tager skade.«

Det mest vanskelige ved systemet har været at efterbehandle de rådata, som satellitterne giver. Satellitternes målinger serverer nemlig et kludetæppe af forskellige gasser fra ammoniak til metan og CO_2, men ved at bruge forskellige algoritmer er det lykkes at udskille ammoniak fra andre gasser.

Birgitte Dalgaard, Det Tekniske Fakultet, SDU

Fælles kamp mod flåtbårne sygdomme

Antallet af mennesker og dyr ramt af flåtbårne sygdomme som neuroborreliose og TBE (Tick Borne Encephalitis) er steget betragteligt i de seneste årtier. Grunden til stigningen i flåtinfektioner er ikke entydig, men årsagerne skal blandt andet findes i klimaforandringer, øget urbanisering og andre menneskeskabte påvirkninger af økosystemet.

Et stort internationalt forskningsprojekt, NorthTick, samler nu aktører fra lande omkring Nordsøen til en fælles indsats mod flåtinfektioner. Roskilde Universitet udgør sammen med Rigshospitalet den danske del af projektet, som skal forske i, hvordan sundhedssystemet bedst forebygger, diagnosticerer, behandler og informerer om sygdomme, der skyldes infektioner, der kan overføres ved flåtbid.

»Mange mennesker bliver bidt af flåter, men ikke alle bliver smittet med de bakterier, som flåten bærer. Derfor er det vigtigt at have gode diagnostiske metoder, der kan identificere smittede personer med behov for behandling. Vi vil i vores forskning på Roskilde Universitet sammenligne de eksisterende metoder og være med til udvikle nye og forbedrede metoder. Samarbejdet med Rigshospitalet og andre europæiske forskningsinstitutioner giver os mulighed for at udnytte hinandens ekspertise optimalt, så vi kan arbejde hen imod fælleseuropæiske retningslinjer inden for diagnostik og behandling af flåtbårne infektioner,« fortæller professor (mso) Karen Krogfelt.

Flåt eller skovflåt er en lille mide med 8 ben, som suger blod fra fugle og pattedyr. Foto: Colourbox

I det tværfaglige projekt vil universiteter, hospitaler og folkesundhedsinstitutioner arbejde sammen for bedre at forstå, hvordan flåtoverførte infektioner spreder sig i Europa, og hvordan infektionerne bedst kan diagnosticeres og behandles. For selv om viden om forebyggelse, diagnosticering og behandling af flåtbårne sygdomme er øget, har det vist sig at være en udfordring at få den nyeste viden hele vejen ud til behandlere i sundhedsvæsenet og til befolkningen i almindelighed.

I de seneste år er der konstateret flere flåtbårne mikroorganismer end de hidtil kendte Borrelia og TBE-virus. Forskere fra Roskilde Universitet og Rigshospitalet vil derfor søge at spore udbredelsen af disse sygdomme ved at undersøge, hvilke mikroorganismer der findes i flåter indsamlet i Denmark. Det skal danne grundlag for en undersøgelse af, hvor mange mennesker der er blevet syge.

Torben Jarl Jørgensen, Roskilde Universitet

Aloe-plantens værn mod tørke

Det har længe været kendt, at nogle planter håndterer tørke bedre end andre. Nu har danske forskere, som nogle af de første i 100 år, undersøgt mekanismerne bag Aloe-plantens evne til at overleve længere perioder med tørke.

Forskere fra Københavns Universitet har i samarbejde med forskere fra Royal Botanic Gardens Kew i England vist, at visse Aloe-arter skrumper – eller mere videnskabeligt – folder sine cellevægge sammen og på den måde sparer på ressourcerne gennem en tørkeperiode. Samtidig ændrer planten sammensætningen af sukkerstoffer i plantevævet.

Desuden har *Aloe vera* og andre Aloe-arter et særligt væv i midten af bladene, det såkaldte hydrenchym-væv. Dette væv har en veludviklet evne til at kontrollere indholdet af vand i bladene.

»Det er yderst relevant i disse tider på grund af klimaforandringer og de potentielle større klimatiske udsving, at vi forstår hvilke mekanismer, der tillader visse planter at overleve under ekstreme forhold,« siger plantebiolog Louise Isager Ahl fra Statens Naturhistoriske Museum.

Aloe vera-planter er gode til at modstå tørkeperioder. Foto: Colourbox.

En af de mekanismer, som sukkulenterne benytter sig af for at modstå tørke, er at folde deres cellevægge sammen ved dehydrering og efterfølgende folde dem ud igen, når vand igen er tilgængeligt. Det er formentlig den særlige sammensætning af sukkerstoffer både i cellevæggen og inden i cellerne af dette væv, der gør planterne i stand til så nøje at kontrollere og holde på vandet. En egenskab, som måske kan overføres til andre planter.

»Jeg kunne forestille mig, at man ved at identificeret de genetiske mekanismer, der gør Aloe-arter i stand til at lave disse foldninger i cellevæggen, i fremtiden kan sætte tilsvarende mekanismer ind i fx afgrøder for at gøre dem mere modstandsdygtige over for klimaforandringer,« siger Louise Isager Ahl.

Maria Hornbek, Københavns Universitet. Plant, Cell & Environment, 2019; DOI: 10.1111/pce.13560.

Ny membran skal fjerne medicinrester

Rester fra medicin er et stigende problem i det danske vandmiljø, og derfor er det afgørende, at rensningsanlæggene finder en løsning til at fjerne stofferne fra spildevandet, inden det ledes ud i de danske vandløb. Det skal et projekt på Aalborg Universitet nu gøre noget ved. Projektet, som har adjunkt Mads Koustrup Jørgensen i spidsen, går ud på at udvikle en særlig membran, der er selvrensende og som kan nedbryder stoffer, der kan skade vandmiljøet.

Mads Koustrup Jørgensen udvikler nye selvrensende membraner til rensning af spildevand. Foto: Camilla Kristensen

De traditionelle biologiske renseanlæg fungerer ved hjælp af bakterier, der renser vandet. Denne metode har dog svært ved at håndtere visse skadelige stoffer og er desuden energikrævende. Mads Koustrup Jørgensens forskning lægger derfor op til en radikal overgang til mekanisk behandling af spildevand ved brug af membraner. Membraner er en slags filtre, der kan sikre høj energiudnyttelse og fuldstændig fjernelse af forurenende stoffer.

»På nuværende tidspunkt er denne mulighed begrænset af, at membranerne stopper til, og at de i dag ikke kan fjerne skadelige stoffer tilstrækkeligt godt. Målet er derfor at lave en selvrensende membran, der nedbryder de stoffer, der ellers ville blokere den, samtidig med at den effektivt nedbryder svært nedbrydelige stoffer som fx medicinrester. Dette skal sikre en høj kvalitet af det rensede spildevand, siger Mads Koustrup Jørgensen«.

Under opvarmning bliver den selvrensende membrans overflade aktiv, hvilket fører til, at skidt på membranen nedbrydes samtidig med, at skadelige miljøfremmede stoffer nedbrydes.

»Vi har udviklet et såkaldt termokatalytisk materiale. Det betyder, at hvis man hæver temperaturen, så er materialet i stand til at nedbryde organisk stof. Dette materiale vil vi gerne sætte fast på en keramisk membran, så membranen nedbryder eksempelvis medicinrester, siger Mads Koustrup Jørgensen«.

Ud over at membranen bliver multifunktionel, er løsningen attraktiv, fordi den kan bruges i stor skala. Forskningsprojektet skal løbe i 2 år, og målet er at udvikle en effektiv membran, der senere kan bruges kommercielt på store anlæg til spildevandsrensning. Projektet er finansieret af VILLUM Experiment.

Camilla Kristensen, Aalborg Universitet.

Myrer bekæmper plantesygdomme

Myrer lever tæt sammen i deres tuer og er derfor udsat for stor smittespredning. Men de har deres egen medicin mod sygdomme. Dels er de meget hygiejniske, dels kan de kurere sig selv og hinanden med antibiotika, som de selv leverer. Gennem nogle kirtler i kroppen udskiller myrerne antibiotika, ligesom bakterie-kolonier, som myrerne dyrker på deres ben og bryst, også kan afgive antibiotika.

Når skovmyrer flyttes fra skoven til en æbleplantage kan det reducere æblesygdomme i plantagen. Foto: Jens Henrik Petersen

Forskere fra Aarhus Universitet har tidligere vist, at skovmyrer, der blev flyttet til en æbleplantage, reducerede de to æblesygdomme (skurv og æbleråd) i plantagen. Det fik forskerne til at grave sig gennem den eksisterende litteratur om myrer og plantesygdomme, hvor de nu har fundet videnskabelig belæg for, at myrer kan hæmme mindst 14 forskellige plantesygdomme. Resultatet af forskernes litteraturstudier er for nylig udgivet i en oversigtsartikel i det videnskabelige tidsskrift *Oikos*.

»Vi ved endnu ikke, hvordan myrerne kurerer de planter, de kravler på,« fortæller seniorforsker Joachim Offenberg Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet, der har stået i spidsen af undersøgelserne.

»Men vi ved, at myrerne afsætter kemiske duftstoffer på deres stier på planterne, så de kan finde vej. Og vi ved, at nogle af disse stoffer har antibiotiske egenskaber. Den kurerende effekt på plantesygdommene skyldes nok disse stoffer,« forklarer Joachim Offenberg. Forskerne satser på, at myrerne og deres antibiotika med tiden kan bruges i landbruget.

»Vi håber at vi med mere forskning inden for feltet kan afsløre nye typer biologiske bekæmpelsesmidler, som kan bruges i kampen mod landbrugets resistente plantesygdomme,« siger Joachim Offenberg.

Og tanken er ikke den rene utopi: Andre forskere har fundet antibiotika på en afrikansk myrer, som er i stand til at slå MRSA og andre multiresistente bakterier ihjel.

Peter Bondo, Videnskabelig artikel: https://doi.org/10.1111/oik.06744

Stemmen udvikler sig uden om hjernen

Uden en hjerne ville der ikke ske synderligt meget på udviklingsfronten; det skal der ikke herske nogen tvivl om. Men faktisk kan kroppen godt selv finde løsninger og sætte gang i udvikling, når det er nødvendigt – for eksempel når vi udvikler os fra spæd til voksen.

Det har forskere påvist hos silkeaber, og de har nu offentliggjort deres studier i tidsskriftet *Nature Communications*.

Silkeabe. Foto: Kacper Januchta, Colourbox.

Det er biolog Coen Elemans fra Syddansk Universitet, som har foretaget studiet sammen med kolleger fra Princeton University i USA.

Helt konkret har forskerne studeret silkeabers vokale udvikling fra spæd til voksen. Ligesom hos mennesket gennemgår silkeaberne en markant vokal udvikling i denne periode.

Som helt spæde producerer ungerne umodne lave kaldesignaler, og når de er færdigudviklede, har kaldesignalerne ændret sig til at være mere modne og høje.

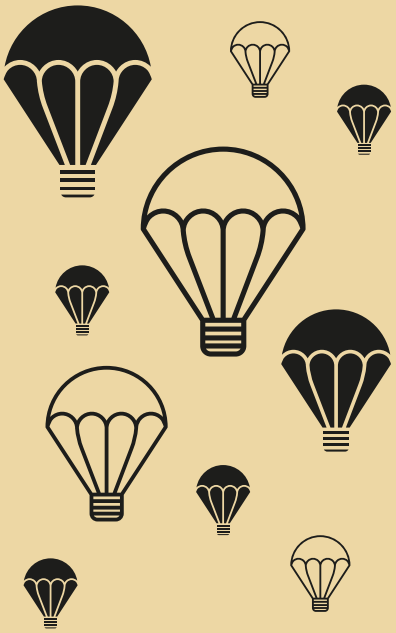
»Hidtil har vi troet, at hjernen var ansvarlig for denne udvikling. Men vores studier viser, at det ikke er tilfældet. I stedet har vi set, at kroppen er ansvarlig. Det giver god mening, for så skal abens hjerne ikke beskæftige sig med opgaven, og dermed kan den spare energi«, forklarer Coen Elemans.

Forskerne brugte highspeed kameraer til at studere spæde og voksne silkeabers strubehoveder. Hvad de så var, at strubehovedet begyndte at forandre sig i takt med, at den spæde unge blev ældre.

Det var denne fysiske ændring af strubehovedet, der førte til ændringer i, hvordan abernes stemmelæber vibrerer og dermed hvilke lyde, de blev i stand til at frembringe.

»Der er en voksende bevidsthed blandt neuroforskere i disse år om, at man ikke kan ignorere kroppen. Kroppen er i stand til at løse problemer lokalt uden at gøre brug af hjernekraft«, siger Coen Elemans.

Birgitte Svennevig, Det naturvidenskabelige Falkultet, SDU



sdu.dk/ing #sduing

Faldskærm i fart på Alsion

Vi inviterer alle fysikhold i det almene gymnasium og htx til Faldskærm i fart-konkurrencen på Alsion i Sønderborg torsdag den 5. december 2019 kl. 10-14.

Faldskærm i fart på SDU Sønderborg er en konkurrence for gymnasier, hvor fysikklasser på alle niveauer er inviteret til at dyste med deres egne selvbyggede faldskærme i de to konkurrencediscipliner Premium Class Award og Innovation Award.

Tilmeldte klasser får tilsendt et Faldskærm i fart-kit med undervisningsmateriale, der kan anvendes i forberedelsen til konkurrencen, samt materialer og udstyr, der egner sig til at konstruere små faldskærme af.

På konkurrencedagen sendes faldskærmene ud i frit fald på 12,5 meter inde i universitetsbygningen Alsion. Der er flotte præmier til vinderne af de to konkurrencediscipliner.

Tilmeldingsfrist er torsdag den 11. november.

Mere information og tilmelding finder du her:
www.sdu.dk/faldskaermskonkurrence

SDU
DET TEKNISKE FAKULTET

Foto: Colourbox

HVORNÅR FÅR VI BØRN?

– En historie om fødselsmønstre i et moderne samfund

I dag påvirker vi selv vores fødselsmønstre. Der bliver født markant færre børn på helligdage og i weekenderne. Derudover er der i Danmark og ude i verden en kraftig variation hen over året. Men nogle gange ryger planlægningen, blandt andet bliver der født rigtig mange børn 9 måneder efter nytårsaften.

For de fleste dyrearter er det ikke tilfældigt, hvornår der yngles; dyrebørn forbinder vi ofte med forår, og det giver også rent biologisk god mening at få unger, når vejret bliver varmere, og der er mere mad. Vi mennesker er ikke på samme måde begrænsede af årstiderne, og med et hav af løsninger inden for prævention samt muligheden for abort, kan vi i dag planlægge vores børn i højere grad end nogensinde før – særligt i den vestlige verden. Spørgsmålet er dog, i hvor høj grad denne planlægning finder sted; er årstider for eksempel noget, kommende forældre bevidst eller ubevidst forsøger at tage højde for, og vil højtider være noget man generelt forsøger at styre udenom?

Vi er tre studerende, der i et projektarbejde i bioinformatik på Aarhus Universitet har set nærmere på fødselsmønstre i både Danmark og udlandet ved at undersøge offentligt tilgængelige data. Vi finder, at antallet af fødsler er meget forskellige mellem ugedage, weekender og helligdage, og at der er nogle sjove mønstre i, hvornår børn bliver undfanget. Både store forskelle mellem årstiderne, men også korte perioder af året, hvor der generelt bliver undfanget flere børn – nemlig i vinterferien og på nytårsaften!

Flest fødsler på hverdage

I vores moderne samfund er planlagte såvel som uplanlagte graviditeter i dag påvirket af meget mere end biologi. Vores samfunds indretning med arbejdsdage og fridage knyttet til bestemte perioder og højtider, mistænker vi for at påvirke billedet endnu mere. Da læger og sygeplejersker også gerne vil have weekend og ferier, planlægger man så mange fødsler som muligt i hverdagene – i det omfang, som de nu engang kan planlægges. Det vil især være i de tilfælde, hvor man af medicinske grunde enten vælger at sætte en fødsel i gang eller foretage et kejsersnit. Medmindre dette sker

Forfatterne:

Solveig Østergaard
solveig@post.au.dk

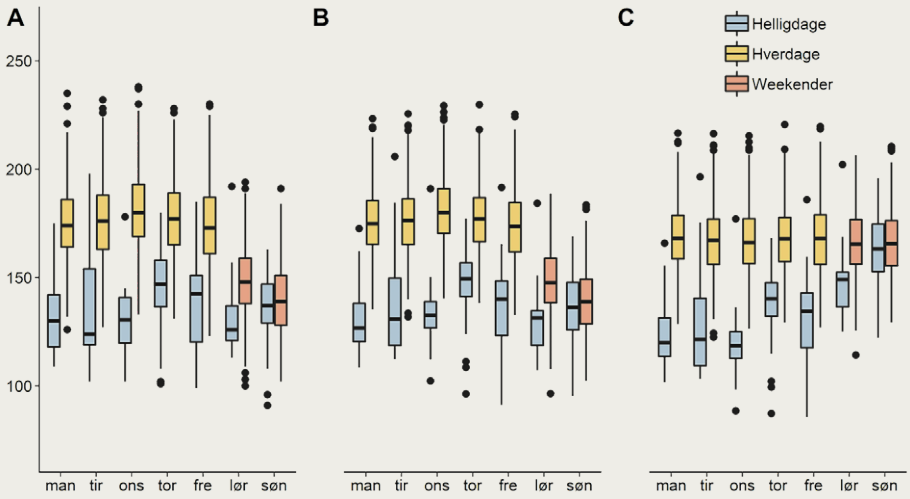
Stine Andersen
stine.and@post.au.dk

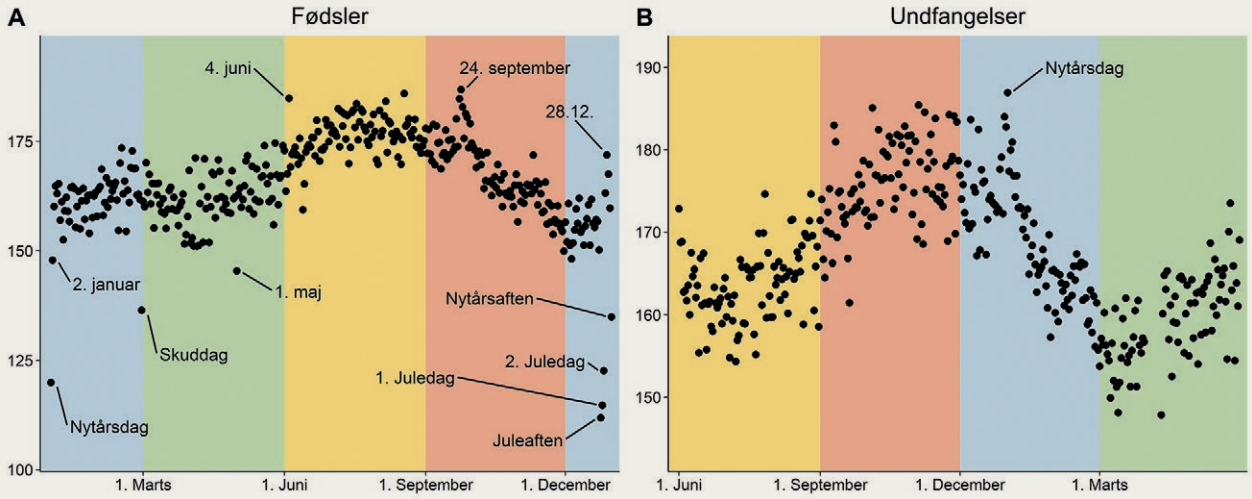
Tomáš Sládeček
sladecek@post.au.dk

Solveig, Stine og Tomáš studerer alle på kandidatuddannelsen i Bioinformatik ved Aarhus Universitet. Denne artikel er skrevet i forbindelse med et projektarbejde i Bioinformatik.

Palle Villesen er associate professor ved Bioinformatics Reasearch Centre på Aarhus Universitet. Han har været vejleder for projektet og medforfatter på artiklen.
palle@birc.au.dk

Figuren viser boxplots over antallet af fødte pr. ugedag i årene 2007 til 2017. Først (A) ses de rå data, hvor der ikke er taget højde for årstallet. I B har vi korrigeret for årstallet, så alle år har samme gennemsnit. Der er en tydelig forskel på hverdage og søn- og helligdage. Når vi korrigerer for ugedagen og årstallet (C) forsvinder weekendeffekten (som den skal), men det ses tydeligt, at helligdage, som falder på hverdage, stadig har langt færre fødsler end almindelige hverdage (som ikke ligger på en lørdag/søndag)





Antal fødsler (A) og undfangelser (B) per dag i perioden 2007 til 2018. Tallene er korrigeret for årstal og ugedag. Bemærk den tydelige årstidvariation og den meget kraftige effekt af enkelte dage, som vi af en eller anden grund undgår. For undfangelser har vi undladt de dage, hvor børnene blev født mellem jul og nytår eller på helligdage, da det forstyrrer billedet.

akut, har man på de enkelte fødeafdelinger mulighed for at planlægge, hvornår sådanne procedurer skal finde sted. Da vi spurgte på fødeafdelingen på Aarhus Universitetshospital i Skejby, bekræftede de, at netop planlagte kejsersnit typisk bliver udført i hverdagene.

Vi kan se, at antallet af fødte topper i hverdagene – især onsdag. I den modsatte ende bliver der født færrest på helligdage og i weekenderne. Ifølge tal hentet fra sundhedsdatastyrelsen er 8-9% af alle fødsler foregået ved planlagte kejsersnit i perioden 2007-2017 – men det er faktisk ikke nok til at forklare forskellene. Hvis vi korrigerer for effekten af hver af de 7 ugedage, samt forskelle mellem årene, er der stadig to mønstre, der er tydelige: Der fødes stadig færre børn på helligdage, og der er en kraftig årstidsvariation i antallet af fødsler.

Der bliver født flest børn den 24. september

Når vi zoomer ud og betragter fordelingen på årsplan, er en ting sikker: Hvis du har termin den 24. september, er du langt fra den eneste – det er nemlig den dag, hvor der i gennemsnit bliver født flest børn. Derudover kan vi meget tydeligt se, at der generelt bliver født flest børn om sommeren og tidligt på efteråret. Især i juli, august og september er der mange fødsler – om det skyldes, at vi planlægger efter at få sommerbørn, eller om der er noget biologisk på spil, er ikke til at sige. Men der er helt klart enkelte datoer, som vi undgår først på året, nemlig 1. maj og skuddag (den 29. februar). Derudover er tallene ekstra lave i juledagene (24. – 26. december), nytårsaften og den 1. januar.

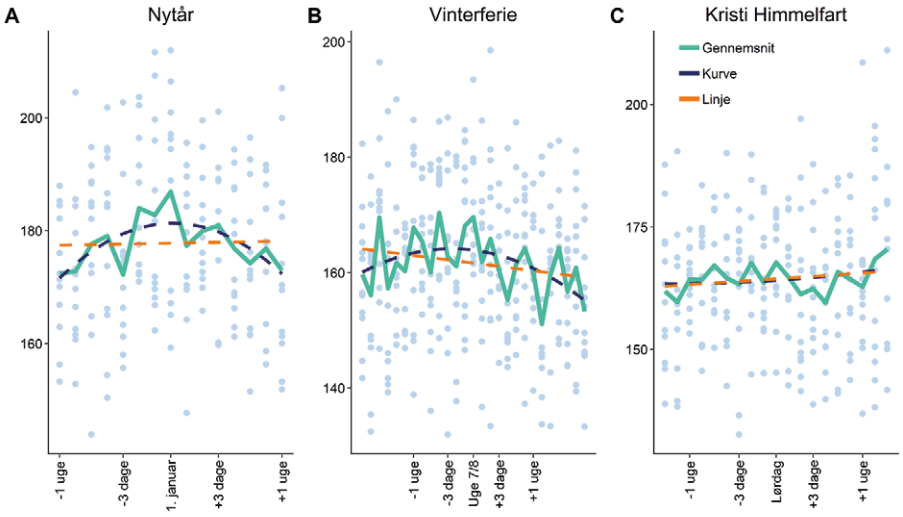
Som det var tilfældet med weekender, kan dette til dels skyldes, at der er mindre sundhedspersonale på arbejde på grund af helligdagene og man derfor undgår planlagte fødsler

P-værdi og signifikans – kort fortalt

En p-værdi er et mål for, hvor godt vores data passer med, hvad vi forventer. Vi kalder også det forventede for vores "nulhypotese", og i vores tilfælde kunne det være, at vi går ud fra, at der ikke er nogen sammenhæng mellem antallet af fødte, og hvilken dag det er. Altså er nulhypotesen, at de to variable er uafhængige, og vi tester, om vores data passer med denne forventning. Hvis data viser en meget kraftig sammenhæng, vil en statistisk test give en meget lille p-værdi. Derfor vil man konkludere, at de data, man har, ikke kan forklares med nulhypotesen – og man vil derfor gå ud fra, at der er en sammenhæng mellem variable; det kalder man at "forkaste sin nulhypotese". For at finde ud af, om den p-værdi, man har fundet, er "lille nok", sætter man et *signifikansniveau* – det vil sige, at man på forhånd vælger en grænse for, hvor lav p-værdien skal være, før man forkaster sin nulhypotese. Typisk vælges 0,05 svarende til 5%.

En forkastet nulhypotese vil typisk være det mest interessante udfald, da det tyder på, at man har fundet noget, der er anderledes end forventet – signifikant anderledes.

Der findes mange forskellige metoder og tests, som kan bruges til at finde en p-værdi, alt efter hvordan ens data ser ud, og hvad man vil teste. I vores tilfælde ønsker vi at teste den nulhypotese, at en kompleks model (kurve) ikke forklarer vores observationer bedre end en simpel model (ret linje). Til det formål bruger vi en såkaldt ANOVA-test.



Undfangelser omkring nytår (A), vinterferien (B) og Kristi himmelfartsferien (C). Den grønne linje viser gennemsnittet pr. dag, den orange linje det lineære fit, og den blå kurve det kvadratiske fit.

For nytår og vinterferien følger kurverne gennemsnittene pænere end de lige linjer, og de har toppunkter omkring henholdsvis 1. januar og midt i uge 7. Figuren for Kristi himmelfartsferien er taget med til sammenligning.

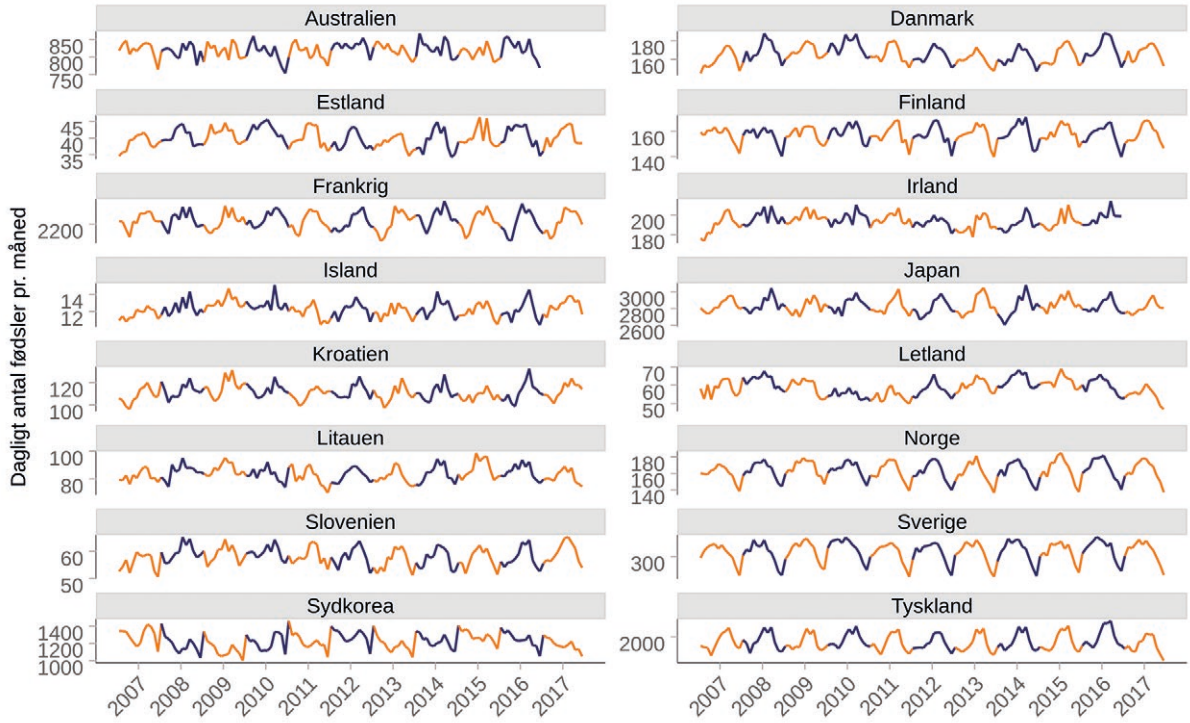
og igangsættelser på disse dage. Dertil kommer, at kommende forældre nok til en vis grad vil forsøge at undgå fødselsdage på de samme dage, som der er store højtider eller specielle datoer (for eksempel 29. februar eller juleaften). Det kan samtidig også ses, at hverdagene mellem jul og nytår ligger højt i forhold til årstiden, hvilket leder os til at tro, at planlagte kejsersnit og igangsættelser nok i højere grad bliver lagt på disse dage i stedet.

Hvornår bliver børnene undfanget?

Der går i gennemsnit 267 dage fra ægløsning til fødsel, og det brugte vi til at regne ud, hvornår børnene i gennemsnit er blevet undfanget. Mange tror, at folk har mere sex om foråret – og det er da også en nærliggende tanke, at drifterne stiger i takt med, at dagene bliver længere og varmere, og det varme vintertøj erstattes af let beklædning. Vi kan dog tydeligt se, at der faktisk er færrest undfangelser i foråret og først på sommeren – det kan vi ikke umiddelbart forklare, men det er kendt, at fertiliteten for mænd er en smule lavere om sommeren. Til gengæld bliver der undfanget flest børn sidst på efteråret og starten af vinteren. Det er svært at vide, om det er på grund af planlægning, fordi det bliver koldere, og vi derfor opholder os mere indendørs og i sengen, eller om det i virkeligheden skyldes noget helt andet. En enkelt dag springer dog i øjnene; den dag, hvor flest børn ser ud til at blive undfanget, er den 1. januar. Spørgsmålet er så bare, om det er tilfældigt, eller om det er en generel tendens, at "nytårsknaldet" bliver til septemberbørn.

Udslag omkring nytårsaften og vinterferien

For at undersøge, om nytåret rent faktisk har en effekt på hvor mange børn, der bliver undfanget, har vi analyseret dagene omkring nytårsaften. Vi kan se, at antallet af undfangelser faktisk topper den 1. januar, og hvis vi sammenligner to matematiske modeller, er det også statistisk signifikant. Vi har fundet at en kurve med én top (anden-



Månedlig variation over antallet af fødte i forskellige lande. Læg især mærke til Norge og Sverige, som har de mest tydelige mønstre.

gradspolynomie: $Y = aX^2 + bX + c$) bedre beskriver data end en simpel ret linje, hvor der ikke er noget udsving ($Y = aX + b$)

Vi har også undersøgt andre perioder, hvor vi måske kunne forvente, at flere børn bliver undfanget. Vi har kigget på efterårsferien (uge 42), julefrokosten (den 2. fredag i december), påskeferien, Kristi himmelfartsferien, pinseferien og vinterferien (uge 7 eller 8). I alle perioderne, bortset fra vinterferien, kunne vi forklare antallet af undfangelser med en simpel ret linje uden store udsving. Omkring vinterferien (søndag i uge 7) kan vi se, at der bliver undfanget færre og færre børn, men der er en top midt i uge 7, og det er også statistisk signifikant.

Konklusionen er klar: "Nytårsknaldet" resulterer i et peak i antallet af gravide, og vinterferien bliver brugt til andet end at stå på ski.

Fødselsmønstre i forskellige lande

Vi har også kigget på årsvariation i andre lande. Her er vi gået et skridt videre og har målt styrken, eller *effekten,* af årsvariationen for at kunne sammenligne forskellige lande. I langt de fleste tilfælde er variationen periodisk, med én top og én bund i fødselstal hvert år. For nogle lande, for eksempel Norge, er det meget tydeligt, for andre kan det være en smule sværere at se. Vi har brugt samme ide som ved nytårsanalysen, og for hvert land fundet den kurve, der ligger så tæt på de observerede datapunkter som muligt – i dette tilfælde opfylder sinuskurven vores krav til en model med periodiske udsving. For at være konsekvente har vi brugt denne model for alle landene, selvom mønstret i nogle tilfælde kan være mere komplekst, og igen sammenlignet med en ret linje uden årstidsvaration.

Næsten alle lande har en årstidseffekt, men Norge og Sverige har de største effekter af alle de undersøgte lande. Det er kun Sydkorea, hvor effekten af årstider ikke er signikant. Det lader altså til, at årstidseffekten findes over næsten hele kloden, men den ser ud til at være kraftigere, jo længere nordpå vi er.

Hvad skyldes variationen?

Vi ved nu, at Danmark, sammen med flere af de andre skandinaviske lande, har en af de stærkeste årsvariationer i fødselstal, der er observeret i analysen. For Danmark, modsat så mange af de andre lande, vi har kigget på, har det store omfang af offentligt tilgængelige data desuden gjort det muligt at lave en mere detaljeret analyse, helt ned på enkelte dage. I Danmark har vi klart flest fødsler om sommeren og i starten af efteråret. Her må vi nøjes med at konkludere, at undfangelserne er sket i det sene efterår eller først på vinteren og spekulere over grunden. Den øgede sædkvalitet i efterårs- og vintermånederne kan muligvis være en del af forklaringen, men her kan man til gengæld undre sig over, hvorfor tendensen så ikke strækker sig ind i de tidlige forårsmåneder. En anden forklaring kunne være, at vi i vinterperioden rykker tættere sammen og opholder os meget indendørs. Sandsynligvis vil en del af svaret lede tilbage til udgangspunktet: Vi planlægger vores børn i højere grad end nogensinde før – bortset fra, når champagnen kommer på bordet nytårsaften, og når skolerne holder vinterferie! ■

Videre læsning
When do we have children? Analysis of patterns in Danish child births. github.com/SolveigOe/foedselsmoenstre

GIV OS RETTEN OG MULIGHEDEN FOR AT REPARERE TILBAGE!

Når et elektrisk eller elektronisk apparat går i stykker, bliver det meget ofte kasseret, fordi det er for dyrt og besværligt at få det repareret. Den udvikling er ikke holdbar, og derfor bør samfundet stille krav om, at apparater skal være lettere at reparere.

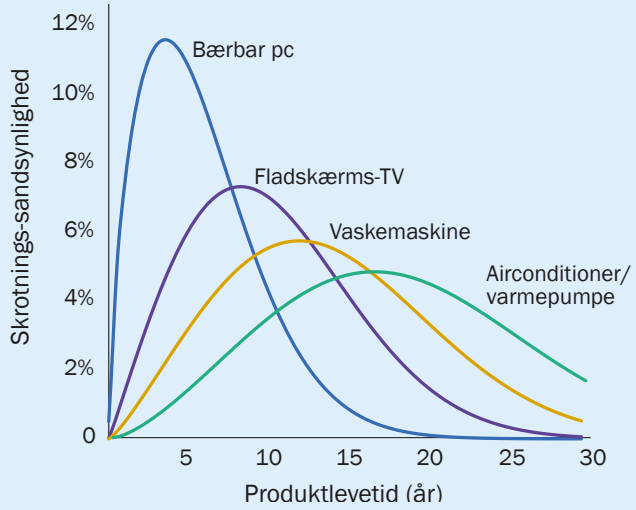
Forfatteren
Erik Skov Madsen er lektor, ph.d. SDU Center for Sustainable Supply Chain Engineering, Institut for Teknologi og Innovation, Syddansk Universitet.
Han forsker i produktion og produktionssystemer og har i sin forskning fokus på håndtering af viden, deling af vinden og især fokus på vedligeholdelse af udstyr herunder offshore vindkraftanlæg.
esm@iti.sdu.dk

Alle kender problemet – man taber mobiltelefonen, eller vaskemaskinen vil pludselig ikke vaske mere. Man står i et dilemma og overvejer, om mobiltelefonen eller vaskemaskinen kan repareres, eller om man bliver nødt til at købe nyt. For nylig brød vaskemaskinen sammen i vores familie, og efter at have fejlsøgt nogen tid blev vi enige om at købe en ny, da vaskemaskinen var over 10 år gammel. Situationen førte tankerne tilbage for 32 år siden, hvor vi i familien købte vores første vaskemaskine til en særdeles favorabel pris på 5600 kr. En hel del vaskemaskiner er siden skiftet, og da vi for nyligt købte en ny vaskemaskine, måtte vi betale 2995 kr. for den. Vores oplevelse var altså, som mange studier har vist, at prisen på elektriske produkter som hårde hvidevarer over 20 til 30 år stort set er blevet halveret.

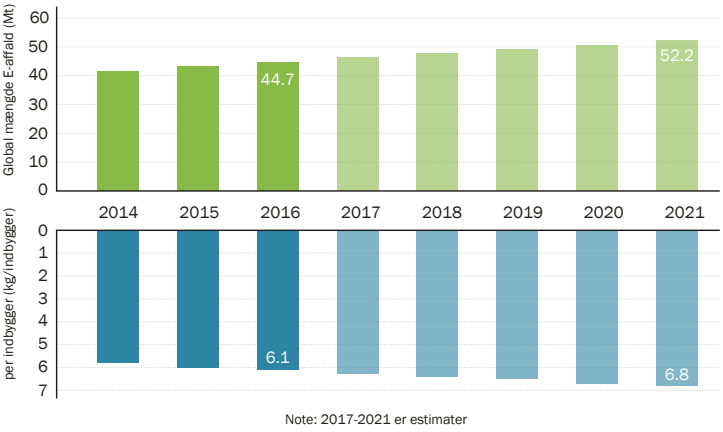
Indenfor forskning i produktionssystemer har der ganske enkelt været et stort fokus på at designe produkter for at kunne reducere fremstillingsprisen. Det er foregået ved hjælp af produktionssystemer som “design for manufacturability”, “design for assembly” og “Lean manufacturing”. Der har derimod været langt mindre (eller stort set ingen) forskning, som har fokuseret på, at elektriske og elektroniske produkter skal kunne holde i mange år eller forskning i, hvordan elektriske og elektroniske produkter er lette at reparere. Begreber som “design for longevity “design for disassembly” eller ”design for repair” er stort set fraværende indenfor forskning i produktion. Denne fokus på at reducere fremstillingsprisen og langt mindre fokus på at designe produkter, så de er til at adskille og reparere, har medført, at det er blevet langt dyrere at reparere elektroniske og elektriske produkter. Vi skrotter derfor disse produkter, når de går i stykker.

Jo rigere vi bliver, jo mere sviner vi

Den nye vaskemaskine lignede til forveksling den gamle vaskemaskine og kunne lige som den gamle også kun vaske familiens tøj. I princippet havde vi kun haft besvær og en ekstra udgift med at købe en ny vaskemaskine, installere den og køre den gamle vaskemaskine på genbrugspladsen. Men hvor endte den gamle vaskemaskine? Tja, ifølge en rapport fra Miljøstyrelsen fra 2016 er der stor sandsynlighed for, at den er sendt til Libanon, Elfenbenskysten eller Grønland, da disse lande ifølge Miljøstyrelsen er de største importører af store brugte husholdningsmaskiner udenfor EU. Måske havde vi i familien gjort os selv til nogle globale miljøsvin med vores bidrag til de 24 kg elektrisk og elektronisk affald, som hver dansker (fra nyfødt til olding) årligt producerer? En FN-rapport viser, at jo rigere, vi bliver, jo mere elektrisk og elektronisk affald producerer vi. Norge, Schweitz, Hong Kong og Singapore ligger som rige lande i front ved, at hver indbygger producerer mellem 28,3 kg og 19,6 kg elektrisk og elektronisk affald hvert år, mens Albanien som et af de fattigste lande i Europa årligt kun producerer 6,1 kg elektrisk og elektronisk affald per indbygger. Selv om der på verdensplan gennem to årtier er udviklet retursystemer for elektrisk og elektronisk affald, videresælges masser af dette affald og ender ifølge FN-rapporter lillegalt i nogle af verdens fattigste lande.



Figuren viser levetiden af forskellige elektriske og elektroniske produkter målt som en sandsynlighed for, at de bliver skrottet. Efter Baldé et al 2017.



Note: 2017-2021 er estimater

Mængden af elektrisk og elektronisk affald (E-affald) har været støt stigende og forventes fortsat at stige de næste år. Af de næsten 50 millioner tons E-affald på verdensplan bliver kun cirka 20% indsamlet og genbrugt. Efter Baldé et al 2017.

Et studie af støvsugere

På Syddansk Universitet gennemførte vi et studie af 2251 kg elektrisk og elektronisk affald. Vi fik dette affald fra en typisk dansk genbrugsstation, hvor den type produkter ender, når vi smider det ud. Støvsugere udgjorde med 233,52 kg størstedelen af den samlede mængde elektrisk og elektronisk affald, som vi undersøgte. Til vores overraskelse fungerede 2/3 af støvsugerne stadig, selvom de var blevet skrottet. For eksempel var slangens kliksystem gået i stykker på nogle af de skrottede støvsugere. Andre havde en stærk lugt, som om de havde været brugt til at støvsuge en hund. Ved andre støvsugere var det automatiske ledningsoprul gået i stykker, eller vi kunne identificere en elektrisk funktionsfejl.

Vi kunne dermed antage, at der havde været mange forskellige grunde til at skrotte de enkelte støvsugere. Det viste sig desuden, at støvsugerne var svære at skille ad for reparation. Nogle støvsugere var for eksempel limet sammen og kunne derfor ikke adskilles, mens andre støvsugere var samlet med kliksystemer, der let gik i stykker ved adskillelse. Andre var samlet med helt op til 40 skruer, og i flere tilfælde var det nødvendigt at anvende specialværktøj til adskillelse. I flere tilfælde var skruerne skjult bag trykknapper og dermed skjult for reparation. Vores studie af støvsugerne kunne dermed bekræfte et stort fokus på at designe støvsuger, så de var lette at fremstille, men samtidig var støvsugerne blevet vanskelige at skille ad og dermed vanskelige at reparere.

Hvem ejer retten til at reparere?

Gennem de seneste årtier har forbrugere oplevet, at masser af udstyr er blevet mere og mere avanceret, når computerstyringer er blevet indbygget til at understøtte flere funktioner. På hjemmefronten gælder det for eksempel smartphones, TV, varmeinstallation, biler og meget andet, som dermed er blevet

Støvsugere udgjorde størstedelen af den samlede mængde elektrisk og elektronisk affald, som vi undersøgte. Til vores overraskelse fungerede 2/3 af støvsugerne stadig, selvom de var blevet skrottet. Foto: Erik Skov Madsen

Videre læsning
Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann,P. : The Global E-waste Monitor – 2017. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

Wiens, Kyle (2015): The right to repair. IEEE Consumer Electronics Magazine, Vol. 4, Issue: 4.

sværere at reparere. Landmænd har overalt i verden oplevet en lignende tendens ved, at deres traktorer eller mejetærskere er overgået fra at være mekanisk styret til, at de i dag er kørende computere med masser af software og overvågning, der hjælper til i marken. John Deere har som en af de allerstørste traktorproducenter på verdensplan hævdet, at netop de og ikke landmanden ejer rettighederne til softwaren i form af ophavsret og patentlovgivning.

Amerikanske landmænd har derimod hævdet, at når de har købt og betalt en traktor, ja, så opfatter de også, at de har retten til den software, som er indbygget i deres maskiner. De amerikanske landmænd har for eksempel oplevet, at der har været indbygget spærringer i software, så en reparation er blevet besværlig, når lokale og uautoriserede værksteder har udført en reparation. På det amerikanske marked har østeuropæisk software derfor været brugt til at bryde softwarekoden i traktorer, og i Nebraska har landmænd gennem retssager ført en indædt kamp om retten til at reparere det, de ejer – "Right to Repair". Denne bevægelse har spredt sig til staten New York i USA, hvor forbrugere har kæmpet for retten til at reparere og retten til, at producenter skal stille fyldige manualer til rådighed for reparation.

Giv os retten til at reparere tilbage!

Der er dog lyspunkter i retten til at reparere. De fleste danskere har oplevet, hvordan der på få år er sket et fald i udgiften til at få deres bil serviceret og repareret. Her har EU ganske enkelt via lovgivning pålagt, at bilfabrikkerne skal stille oplysninger om diagnosticering, service, syn, periodisk overvågning og reparation af biler til rådighed både over for de frie værksteder (populært kaldet uautoriserede værksteder) og over for de autoriserede værksteder. EU har med denne lovgivning erkendt, at det på grund af bilernes øgede kompleksitet har været nødvendigt at pålægge bilfabrikkerne at åbne op for adgang til data, for at både autoriserede og frie værksteder skal kunne konkurrere på lige vilkår. I en evaluering fra 2016 af denne EU-lovgivning erkender EU, at der er behov for yderligere krav i form af, at bilfabrikkerne i fremtiden skal oplyse deres reparations- og vedligeholdelsesinformationer via et standardformat på deres webside. Dette initiativ kan give yderligere fri konkurrence og grobund for, at flere (frie værksteder) kan få mulighed for at servicere, og forbrugeren får flere muligheder for at få repareret deres biler.

Det forholder sig desværre anderledes med elektrisk og elektronisk udstyr. Alt for meget af dette udstyr skrottes for tidligt, da det er vanskeligt at adskille og reparere. Elektrisk og elektronisk affald er desuden særdeles miljøfarligt for både mennesker og omgivelser og er dermed kompleks at håndtere. Mængden af denne type affald forventes stadig at stige i EU fra 9 millioner tons per år i 2005 og til 12 millioner tons i 2020. EU arbejder på at udbygge producentansvaret, så elektrisk og elektronisk affald kan indsamles. Samtidige erkender EU i rapporter, at der specielt indenfor elektrisk og elektronisk affald er mangel på data og mangel på gennemskuelighed af data. Store mængder af elektronisk udstyr bliver desuden produceret i Fjernøsten, og masser af elektrisk udstyr produceres i andre lavtlønslande. Når dette udstyr skrottes og ikke kan repareres, genereres der dermed kun få arbejdspladser i Danmark.

Det ser dog ud til, at borgerne i EU ønsker en løsning på problemet. En større undersøgelse blandt EU's medlemslande har vist, at 77% af EU's borgere hellere vil have deres elektriske og elektroniske udstyr repareret, end de vil købe nyt. Tiden må være inde til, at EU's lovgivning støtter op om, at vi som forbrugere kan få vores elektriske og elektroniske udstyr repareret og dermed reducerer belastningen af miljøet. Giv os retten og muligheden for at reparere tilbage! ■

SCIENCE Kommunikation

BLIV INSPIRERET

KOM TIL INSPIRATIONSDAG FOR NATURFAGLIGE GYMNASIELÆRERE 31. JANUAR 2020

Dagen står i naturvidenskabens og matematikkens tegn, når Københavns Universitet inviterer dig ind til et spændende program, hvor du bl.a. kan høre om ferskvandsøkologi, materialekemi og brug af kunstig intelligens i gymnasiet.

Du får også masser af inspiration til din egen undervisning i dagens workshops. Her kan du fx arbejde med det periodiske system, kvanteinformation eller videnskabsteori og tværfaglighed til gymnasiet.

Tilmeld dig og læs mere om dagens program på

inspirationsdag.ku.dk

KØBENHAVNS UNIVERSITET

15 $3s^2\ 3p^3$
P
Phosphor
30.974

Tema om phosphor
I tre artikler sætter vi fokus på den globale phosphor-udfordring og nye metoder til at genindvinde phosphor fra spildevand, så det kan genbruges.

Om forfatterne

Kasper Reitzel er lektor ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet.
reitzel@biology.sdu.dk

Haiyan Qu er professor mso ved Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi samt ved Chemical Engineering, Syddansk Universitet.
haq@kbm.sdu.dk

Morten Lykkegaard Christensen er lektor ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet.
mlc@bio.aau.dk

Ulla Gro Nielsen er professor ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet.
ugn@sdu.dk

Per Halkjær Nielsen er professor, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet.
phn@bio.aau.dk

DEN GLOBALE PHOSPHOR-UDFORDRING

Næringsstoffet phosphor er afgørende i den globale fødevareproduktion, men mangel på phosphor truer inden for det næste århundrede. Samtidig har vi problemer med, at phosphor forurener vores vandmiljø. Derfor har vi brug for en mere holistisk tilgang til forvaltningen af det værdifulde næringsstof.

Vi har i mange år diskuteret udfordringerne ved vores høje forbrug af fossilt brændstof, da dette er en begrænset ressource, som samtidig medvirker til global opvarmning. Ligesom fossilt brændstof er der en lang række andre kritiske råstoffer, som også er i fare for at blive opbrugte. Et vigtigt råstof er klippematerialer, der indeholder grundstoffet phosphor på den kemiske form PO_4^{3-} (phosphat). Phosphat anvendes blandt andet til fremstilling af gødningsstoffer og er et essentielt næringsstof, der indgår i for eksempel knogler, cellemembraner, DNA og stofskiftet. For at kunne brødføde Jordens voksende befolkning er det derfor nødvendigt, at vi har adgang til nok phosphatgødning.

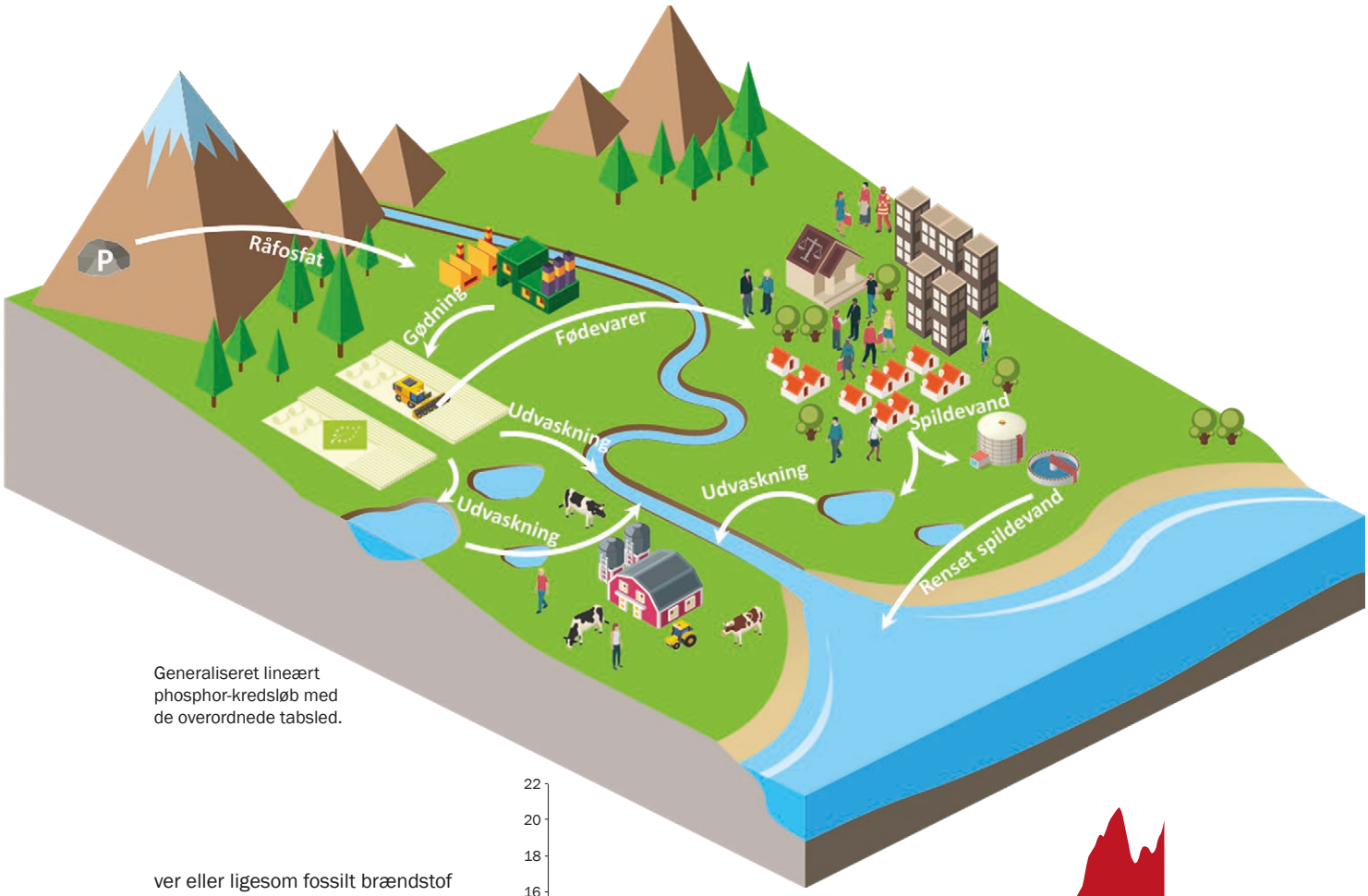
Procesanlæg i forbindelse med en phosphat-mine. Foto: Shutterstock.

Phosphor findes primært som phosphat i forskellige mineraler og udvindes i dag fra phosphatrige bjergarter ved minedrift. Før vi mennesker begyndte at udvinde phosphat, var det globale phosphor-kredsløb lukket; mennesker og dyr spiste afgrøderne, og afføringen blev genbrugt lokalt som gødning til nye afgrøder. I dag er dette kredsløb blevet brudt, og der udvindes hvert år globalt cirka 220 mio. tons phosphat fra klippematerialer til produktion af kunstgødning til landbruget.

Phosphat er både et begrænsende næringsstof og en ressource med begrænset global tilgængelighed, der forventes at blive en mangelvare om 50-100 år. Samtidig er op mod 25 % af al phosphat, der er blevet udvundet siden 1950'erne tabt fra det globale phosphor-kredsløb og ligger nu blandt andet begravet i sedimenter (især søer og kystnære områder) eller deponeret i forskellige materialer, hvor det ikke længere er tilgængeligt for planterne.

En kompleks udfordring

De enorme samfundsmæssige udfordringer med phosphor har desværre ikke tiltrukket samme opmærksomhed hos den almene befolkning som udfordringerne med nitrogen og fossilt brændstof. Dette til trods for, at phosphor ikke ligesom nitrogen kan fikseres fra luften eller erstattes med andre alternati-

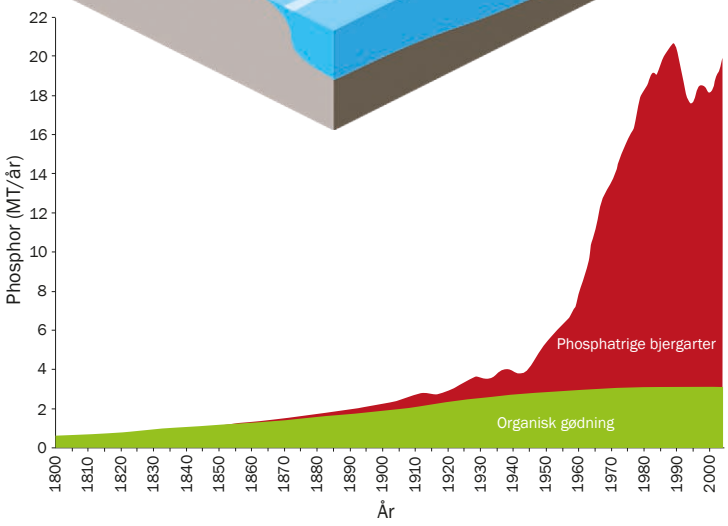


Generaliseret lineært phosphor-kredsløb med de overordnede tabsled.

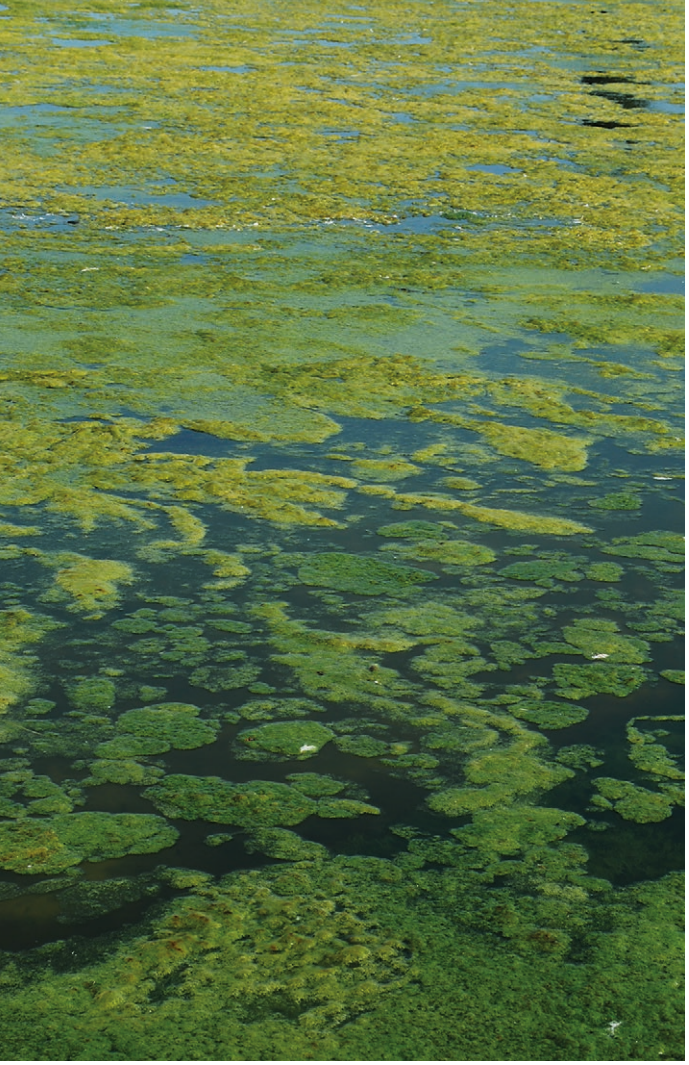
ver eller ligesom fossilt brændstof kan erstattes med for eksempel sol- eller vindenergi. I øjeblikket er der et uholdbart overforbrug af jordens phosphor-reserver. Kombineret med forringet vandkvalitet og ulige global adgang til phosphat-gødning har det ført til udtrykket "Den Globale Phosphorudfordring", hvor de vigtigste elementer er følgende:

1) Tilgængeligheden af phosphor fra de phosphatrige bjergarter, der bruges til at producere landbrugets kunstgødning, forventes at blive reduceret kraftigt indenfor de næste årtier. Disse bjergarter findes primært i Marokko, Rusland, Kina og USA, der tilsammen kontrollerer 85 % af de globale phosphor-reserver. Denne geografisk ulige fordeling er en vigtig fremtidig geopolitisk udfordring for den globale fødevaresikkerhed og for bekæmpelse af fattigdom. Dette ses blandt andet ved, at phosphor har været på EU's liste over kritiske råstoffer siden 2014.

2) Overgødning af landbrugsjord samt utilstrækkelig behandling af spildevand og regnvandsbetingede overløb forårsager udvaskning af phosphat til søer og kystområder, hvor det medfører algeopblomstrin-



Den overordnede udvikling i kilder til phosphor-gødning gennem tiden. Organisk gødning er helt overvejende gødning fra husdyr eller biomasse, mens en lille del udgøres af menneskegødning og guano. Efter Cordell et al: *Global Environmental Change* 19 (2009).



Udvaskning af næringsstoffer som fx phosphat kan give miljøproblemer. Foto: Colourbox.

ger, tab af biodiversitet og i nogle egne forurening af drikke- og badevand på grund af giftige alger.

3) Vores nuværende samfundsmodel er baseret på en lineær tankegang, hvor vi producerer, forbruger, smider ud, og producerer på ny. Vi overudnytter således en begrænset ressource til fødevareproduktion og opbygger samtidig store mængder phosphor i landbrugsjorden, hvorfra det kan udvaskes til vandmiljøet. Mange affaldsprodukter med et højt indhold af phosphor deponeres og gøres utilgængelige for fødevareproduktionen. For eksempel anvendes phosphat i flyveaske i cementproduktionen. Herved afkobles det fra phosphor-kredsløbet, og fremtidige generationers adgang til phosphor bliver begrænset, samtidig med at phosphor udvaskes til, og forurener, vandmiljøet. En cirkulær tilgang, hvor phosphor genanvendes og phosphor-spild minimeres, er derfor essentiel for at sikre den fremtidige adgang til denne ressource.

4) Forvaltningen af phosphor er fragmenteret mellem forskellige sektorer – fra landbrugssektoren, hvor phosphat-baseret gødning er en værdifuld ressource, til affaldssektoren, hvor phosphat er et forurenende stof, der skal fjernes, til miljøsektoren, hvor phosphat er hovedårsagen til, at vores vandmiljø ikke lever op til EU's vandrammedirektiv, der dikterer, at vores overfladevand og grundvand skal have en god økologisk tilstand (dvs. kun afvige lidt fra den oprindelige, upåvirkede tilstand).

Den globale phosphor-udfordring er ikke blot karakteriseret ved, at nogle lande har utilstrækkelig adgang til phosphat, mens andre har store miljøproblemer forårsaget af udvasket phosphat. Den globale phosphor-udfordring er et komplekst samspil mellem biogeokemiske processer i naturen, industripartnere og statslige sektorer, der opererer på mange forskellige niveauer. Betydningen af dette illustreres yderligere ved, at phosphor-problematikken adresserer hele 11 af FN's 17 verdensmål. Det kræver derfor en holistisk nytænkning og nye samarbejder på tværs af de forskellige sektorer at løse phosphor-udfordringerne og sikre et bæredygtigt phosphor-kredsløb.

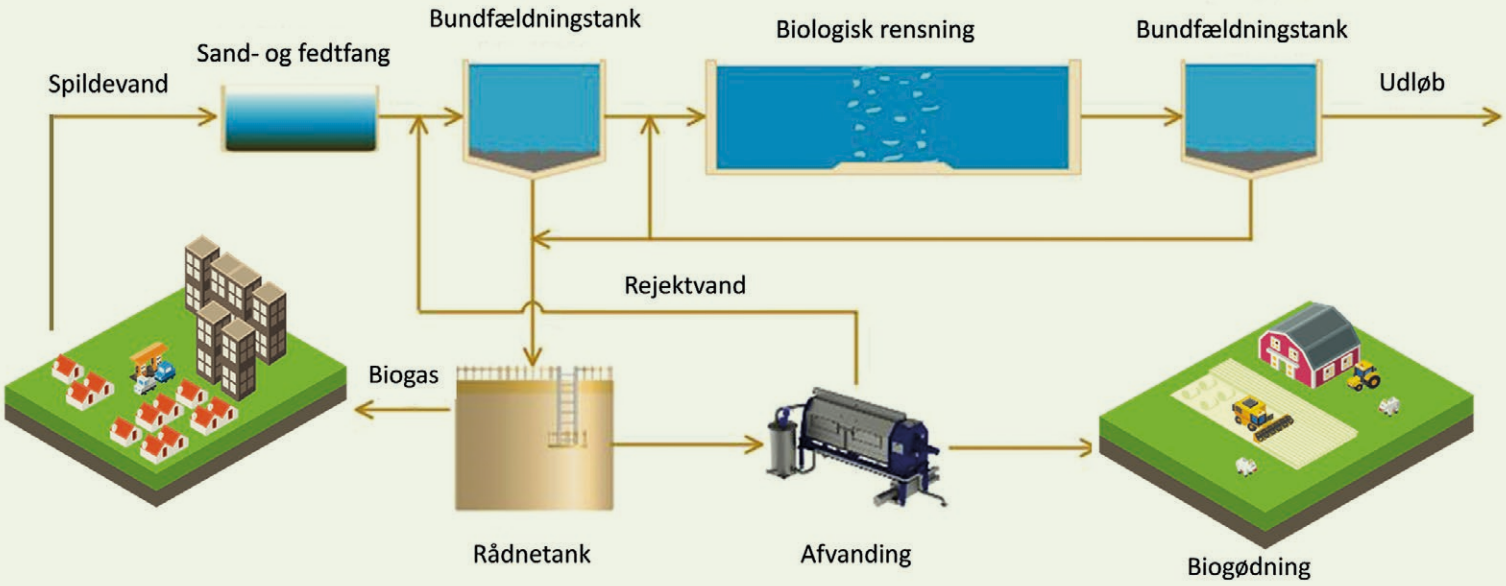
Mangel på ansvarsdeling

På nuværende tidspunkt har ingen offentlig institution taget ansvaret for at forvalte de globale phosphor-ressourcer. I de tilfælde, hvor der findes lovgivning, har denne ofte tendens til kun at fokusere på ét aspekt af den globale phosphor-udfordring og ikke alle aspekter af en cirkulær anvendelse af phosphor eller fremtidige behov for at understøtte en ligelig og retfærdig adgang til de globale phosphor-ressourcer. Et eksempel er EU's vandrammedirektiv, der pålægger medlemsstaterne at bringe vandområderne til en god økologisk status, men ikke fokuserer på genbrug af den phosphor, der skal fjernes fra vandområderne. Vandrammedirektivet burde således også tage højde for en fremtidig øget efterspørgsel på phosphor til fødevareproduktion og ikke blot fokusere på den økologiske kvalitet af vandmiljøet. I en stadig mere urbaniseret verden, hvor befolkningstallet forventes at stige dramatisk i de kommende årtier, kan phosphor derfor ikke blot betragtes som et nationalt landbrugs- eller lokalt miljøspørgsmål. Det er derfor vigtigt, at vi på verdensplan samarbejder om en plan, der sikrer den nødvendige omstrukturering af globale og lokale fødevare- og affaldshåndteringssystemer, samtidig med at der sikres adgang til phosphor og et rent vandmiljø.

Vejen frem

For at sikre en stabil fødevareproduktion og skabe et lukket og bæredygtigt phosphor-kredsløb, skal de forskellige akademiske, industrielle og offentlige aktører (for eksempel biologer, kemikere, ingeniører, landmænd, forvaltere og politikere) samarbejde på tværs af de involverede sektorer for at tilvejebringe den nødvendige ekspertise. Men dette sker desværre sjældent. Og en vigtig grund er manglen på en holistisk og tværfaglig viden blandt de personer, der arbejder med phosphor. Der er derfor behov for at uddanne eksperter, der kan samarbejde på tværs af forskellige sektorer. Et godt eksempel er miljømedarbejdere, der i dag kun skal sørge for at fjerne phosphor fra vores søer ved primært at binde phosphat i søsedimenterne. Fremadrettet skal disse tænke cirkulært og så vidt muligt opsamle phosphat, så det kan blive genbrugt og igen indgå i landbrugets fødevareproduktion.

Den globale phosphor-udfordring er et unikt eksempel på, hvorledes tværfaglighed skal bruges til at løse store globale udfordringer. Og den viser, hvor vigtigt det er at kombinere biologi, kemi og samfundsvidenskab i undervisningen, så de studerende ikke kun undervises i de naturvidenskabelige fag, men også lærer hvorledes ændringer i



Overordnet flow i et typisk dansk renseanlæg med biologisk rensning.

politik og generel samfundsoplysning kan medføre udvikling af nye teknologier.

Phosphor i et europæisk perspektiv

For at illustrere mulighederne for at sikre en bæredygtig anvendelse af phosphor, kan vi tage udgangspunkt i de Europæiske medlemslandes forbrug.

Et studie fra 2016 viser, at EU i 2005 importerede 95 % af sit phosphor, hvilket svarer til knap 240.000 tons. Halvdelen blev akkumuleret i landbrugsjord, mens den anden halvdel endte i affald. I affaldet kom 54 % af al phosphor fra indtagelse af fødevarer og 55 % af dette endte i husholdningsspildevand. Madspild stod for 27 % af phosphor-tabet i affaldet, mens afføring fra kæledyr udgjorde 11 %. Men også selve fødevareproduktionen er en vigtig kilde til phosphortab, hvor slagteriaffald udgjorde 28 %. Derudover findes der mindre tab fra forskellige andre processer som plante- og dyreproduktionen samt fra processer, der ikke er relateret til fødevareproduktionen. Ovenstående tal viser således, at EU er yderst afhængig af importeret phosphor, men samtidig også, at der er et stort potentiale for at reducere denne afhængighed ved at mindske phosphor-tabene fra fødevareproduktionen samt øge genanvendelsen af phosphor i vores affald. Derfor har der i de seneste år været et stort fokus på genanvendelse af phosphor fra især spildevand.

ReCoverP-projektet

Spildevand indeholder phosphor, og faktisk svarer mængden af phosphor i spildevand (4.600 tons /år) til 20-25 % af den mængde phosphor, der hvert år importeres til Danmark i form af kunstgødning. I dag udbringes cirka 3.000 tons phosphor fra slammet på landbrugsjord, svarende til 73 % af den maksimale udnyttelse. Den danske målsætning er, at 80 % af phosphor i slammet skal genanvendes. Spildevandet behandles på renseanlæg, der er et godt eksempel på et system, hvor forskellige videnskabelige discipliner kan samarbejde med industrielle operatører. Renseanlæg modtager samfundets spildevand, der renses og ledes tilbage til naturen. I renseanlæg anvendes både biologiske og kemiske metoder til at fjerne phosphor fra spildevandet.

Mange danske renseanlæg anvender i større eller mindre udstrækning biologisk phosphor-fjernelse, hvor specifikke bakterier optager phosphat og indbygger den i biomassen som polyphosphater. Phosphor kan også fjernes kemisk ved at tilsætte jern(III)-ioner, hvorved phosphat bindes til jern(oxy) hydroxider eller udfældes som jernphosphater. Under renseprocessen omdannes organisk stof i spildevandet til mikrobiel biomasse, mens uorganiske forbindelser udfældes, blandt andet som jernphosphater. Denne blanding af bakterier, organiske og uorganiske forbindelser kaldes efter afvanding for "slam".

Slammet kan benyttes direkte som gødning på marker, men anvendes oftest først til at producere biogas i rådnetanke, hvorved der kan dannes både elektricitet og varme. Ved denne proces nedbrydes meget af det organiske stof i slammet under dannelsen af methan (største del af biogas), og efter slamafvanding opnås en fast slamfraktion, som typisk indeholder 25-50 g P/kg tørstof, hvis anlægget benytter biologisk rensning. Samtidig med biogasproduktionen frigives en del phosphat fra slammet, som efter filtrering ledes tilbage til renseanlægget (kaldet rejektvand), hvor det igen optages af bakterier eller bindes til jern. Renseprocessen

Se også artiklen *Genindvinding af phosphat fra spildevand* side 21)

samt artiklen *Bakterier fjerner phosphat fra spildevand* side 26).

Videre læsning:

van Dijk, K.C., Lesschen, J.P. and Oenema, O. (2016) Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. Science of the Total Environment 542, 1078-1093.

ReCoverP: www.en.bio.aau.dk/recoverp/

http://phosphorus-futures.net/the-phosphorus-challenge/the-story-of-phosphorus-8-reasons-why-we-need-to-rethink-the-management-of-phosphorus-resources-in-the-global-food-system/

https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/06/978-87-7038-083-6.pdf

Her tester vi plantetilgængeligheden af phosphor i slam. Foto: Kasper Reitzel

sikrer en lav koncentration af phosphor (typisk <0,2 mg P/l) i det rensede spildevand og en slamfraktion rig på phosphor.

Denne slam kan tilføres markerne som et gødningsprodukt, men hvis koncentrationerne af tungmetaller er for høje er dette forbudt. I nogle lande, som Tyskland og Schweitz er det forbudt at bruge ubehandlet spildevandsslam som gødning, fordi man er bekymret for sygdomsfremkaldende bakterier og uønskede miljøfremmede stoffer. I Tyskland har man i 2017 vedtaget ny lovgivning med krav om udvinding af phosphor fra al slam, der indeholder mere end 2 % phosphor i tørstoffet. Dette skal ske indenfor de næste 15 år, og kravene gælder for alle anlæg med en kapacitet over 50.000 personækvivalenter og skal sikre, at phosphor genindvindes. Derfor arbejder man mange steder med at udvikle nye metoder til at genindvinde phosphor.

I projektet RecoverP, som er støttet af Innovationsfonden og en række forsyninger og rådgivere, har vi gennem de seneste 4 år fokuseret på at øge genindvindingen af phosphor fra spildevandsslam ved at finde alternativer til den direkte udledning af slam på markerne. Vi har udviklet metoder til karakterisering af phosphor-forbindelserne i slammet, hvilket blandt andet har påvist store mængder polyphosphater i det aktive slam samt jernphosphater i det afvandede slam. Vi har også identificeret og karakteriseret de vigtigste phosphat-akkumulerende bakterier, som er ansvarlige for den biologiske spildevandsrensning, og har derudover testet og udviklet forskellige teknologier til at genindvinde phosphor fra rejektvandet, der vil muliggøre en genanvendelse af phosphor på en renere form end i spildevandsslam. ■

Study Mathematical Bioscience

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

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

→ **Mathematical Bioscience**

ruc.dk/en/master/programmes

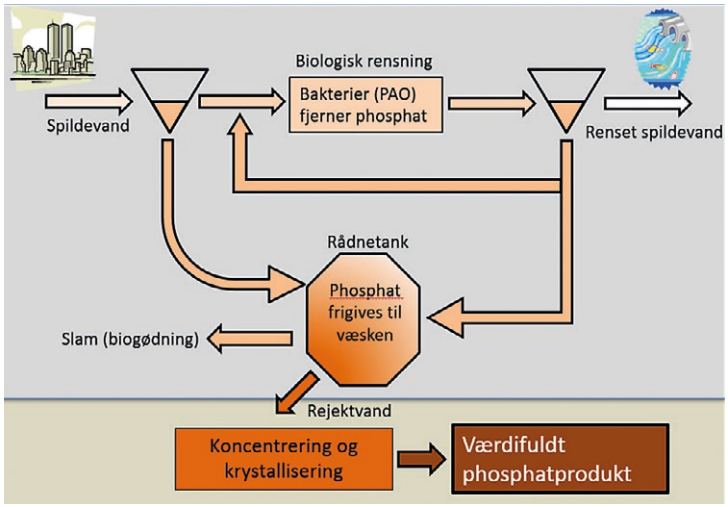
RUC

GENINDVINDING AF PHOSPHAT FRA SPILDEVAND

Phosphat kan anvendes både som gødningsprodukt og industrielt. I RecoverP-projektet, har vi udviklet tre forskellige metoder til at genindvinde phosphat fra spildevand. På den måde kan vi få et meget rent produkt med et minimalt forbrug af kemikalier.

I renseanlæggene fjerner man phosphat fra spildevand – enten kemisk ved fældning med jern - eller aluminiumssalte eller biologisk af polyphosphat-akkumulerende mikroorganismer. Hvis phosphat fjernes biologisk, vil en del af phosphaten frigives igen i rådnetanken. Når slammet fra rådnetanken filtreres ender phosphaten derfor i væskefasen (rejektvandet). Koncentrationen af phosphat i rejektvandet varierer meget fra anlæg til anlæg, men er typisk omkring 300 mg P/l. Det gør det muligt at genindvinde phosphat fra rejektvandet. Rejektvandet kan imidlertid indeholde små mængder miljø- og sundhedsskadelige stoffer, så det begrænser i dag antallet af brugbare phosphatforbindelser, der kan genindvindes. På storskala genindvindes phosphat kun som struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Det sker ved at tilsætte magnesiumsalte og øge pH i rejektvandet (se faktaboks).

I Danmark produceres der struvit på Herning, Marselisborg, Helsingør og Aaby Renseanlæg. Ulempen ved struvitudfældning er, at der bruges magnesiumsalte, der ligesom phosphat er en begrænset ressource. Struvit sælges som et gødningsprodukt, men indtjeningsmulighederne er ringe. Vi har derfor arbejdet med nye teknologier for at producere andre phosphatforbindelser og sikre meget rene produkter, så phosphaten kan bruges industrielt og man kan undgå magnesiumsaltene.



Renseanlæg med biologisk phosphatfjernelse og efterfølgende genindvinding af phosphat. Phosphor fra spildevandet overføres dels direkte til biogasreaktoren (rådnetanken) via en primærfældning og dels indbygges i den mikrobielle biomasse (aktivt slam), hvoraf den overskydende del føres til rådnetanken. I rådnetanken vil phosphat blive frigivet til væskefasen.

Produktion af calciumphosphat

Et nyttigt phosphatprodukt er calciumphosphat, der blandt andet anvendes til fremstilling af dyrefoder og tilsætningsstoffer i fødevarer. Calciumphosphat er vanskeligere at producere end struvit. Det skyldes, at rejektvand indeholder organiske stoffer (bakterierester og humusstoffer), der adsorberer til calciumphosphat og forhindrer krystalliseringsprocessen, så slutproduktet er små urene krystaller af calciumphosphat. For at undgå det, har vi i ReCoverP-projektet udviklet en ny proces, hvor det organiske stof oxideres til kuldioxid og vand inden krystalliseringen. Ved at bruge hydrogenperoxid (H_2O_2) eller

Om forfatterne

Morten Lykkegaard Christensen er lektor ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet.
mlc@bio.aau.dk

Haiyan Qu er professor mso ved Institut for Kemi-, Bio- og Miljøteknologi samt ved Chemical Engineering, Syddansk Universitet
haq@kbm.sdu.dk

Ulla Gro Nielsen er professor ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet
ugn@sdu.dk

Cejna Anna Quist-Jensen er adjunkt ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet
cejna@bio.aau.dk

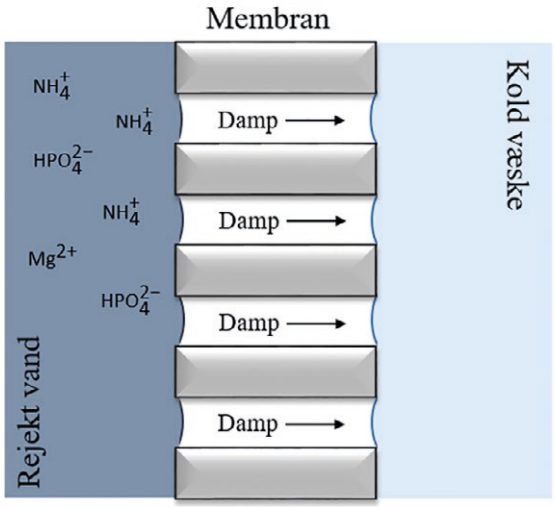
Kasper Reitzel er lektor ved Biologisk Institut Syddansk Universitet
reitzel@biology.sdu.dk

Calciumphosphat produceret fra rejektvand fra Aaby renseanlæg uden oxidation (venstre) og med oxidation med hydrogenperoxid (højre). Den mørke farve skyldes organisk materiale. Fotos: Liubov Vasenko.

ozon (O_3) til oxidationen kan mere end 90 % af phosphaten genindvides fra rejektvandet som rent calciumhydrogenphosphat dihydrat ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) eller hydroxyapatit ($Ca_5(PO_4)_3(OH)$). Indholdet af tungmetaller er så lavt, at produkterne opfylder kravet til fødevaretilsætningsstoffer i EU.

Membraner opkoncentrerer phosphat

Som nævnt kan phosphat genindvindes som struvit på renseanlæg ved at tilsætte store mængder kemikalier, typisk magnesiumklorid. Det er dyrt, men kemikaliemængden kan reduceres ved at øge koncentrationen af phosphat inden fældningen. En lovende teknologi er at koncentrere phosphatsalte ved at fordampe vandet. Jo højere temperatur og større overfladeareal mellem vand og luft, desto hurtigere forløber processen. Vi har i ReCoverP-projektet anvendt en ny metode, hvor vi bruger tynde vandskyende polymermembraner med små huller på cirka 1 µm. Vandet fordamper igennem disse huller, og ved at pakke membranerne tæt fås en stor overflade, så vandet fordamper hurtigt selv ved relativt lave temperaturer (40-60 °C). Da rejektvandet i forvejen er varmt, fordi rådnetanke typisk drives ved 35 °C, skal der ikke bruges ret meget energi til processen. Overfladearealet er stort, hvilket betyder at man kan undgå store variationer i ionkoncentrationer, og det er derfor nemt at styre krystalliseringen. Vi har allerede vist, at det er muligt at reducere forbruget af magnesiumsalte til produktion af struvit ved hjælp af denne metode, men metoden kan også anvendes til at genindvinde andre phosphatforbindelser såsom calciumphosphater.



Membrankrystallisering til koncentrering af rejektvand. Vand fordamper fra rejektvandet over til den kolde væske.

Selektiv opkoncentrering af phosphat

Et problem ved genindvinding af phosphat er, at rejektvand kan indeholde tungmetaller og arsenat (AsO_4^{3-}). Tungmetalioner som Zn^{2+} og Cd^{2+} indbygges i mineralerne i stedet for Ca^{2+} og Mg^{2+}, mens AsO_4^{3-} kan erstatte phosphat. For at undgå tungmetaller kan en løsning være at bruge et materiale, der selektivt binder phosphat for derved at opnå et renere produkt.

Vi har anvendt miljøvenlige lagdelte dobbelthydroxider (LDH), der findes i naturen som mineralet hydrotalcit ($Mg_3Al(OH)_6(CO_3)_{½} \cdot 2H_2O$). Hydrotalcit er også godkendt som lægemiddel og bruges til neutralisering af mavesyre.

LDH fremstilles på industriel skala og er kemisk beslægtet med magnesiumhydroxid ($Mg(OH)_2$). Dog er en del af Mg^{2+}-ionerne erstattet med Al^{3+}, hvilket skaber positivt ladede lag, der frastøder hinanden. Imellem lagene findes vandmolekyler og negativt ladede ioner. De negativt ladede ioner kan udskiftes, så LDH kan udbytte forskellige negativt ladede ioner med følgende præference: $Cl^- < NO_3^- < SO_4^{2-}$ $AsO_4^{3-} < CO_3^{2-} \approx PO_4^{3-}$. LDH har som det ses en høj affinitet for phosphat, og kan for eksempel binde phosphat ved

15 $3s^2\,3p^3$
P
Phosphor
30.974

Krystallisering af struvit

Struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) består af tre forskellige ioner: magnesium, ammonium og phosphat samt seks krystalvand.

$$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + NH_4^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) + 6\ H_2O(l)$$

Opløselighedsproduktet (K_0) er for denne reaktion givet ved:

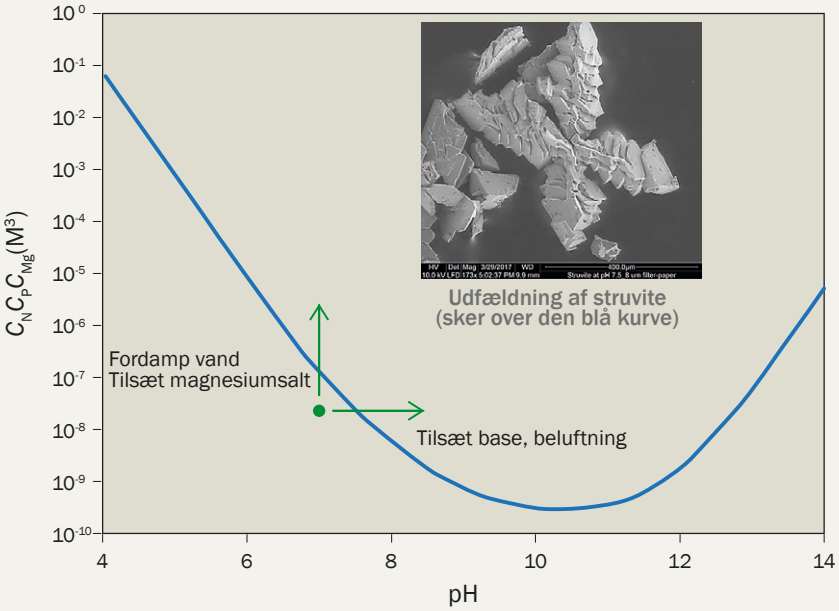
$$K_0 = [Mg^{2+}][NH_4^+][PO_4^{3-}] = 2{,}51 \cdot 10^{-13}$$

Mængden af struvit, der udfældes, er meget afhængig af pH, da både ammonium og phosphat indgår i syre-base-ligevægtene nedenfor. Dermed bestemmes koncentrationen af de to ioner af pH:

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq) \quad pK_S = 9{,}25$$

$$H_2PO_4^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HPO_4^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \quad pK_{S2} = 7{,}21$$

$$HPO_4^{2-}(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons PO_4^{3-}(aq) + H_3O^+(aq) \quad pK_{S3} = 12{,}38$$



Udfældning af struvit.
Det røde mærke markerer produktet af målte koncentrationer af phosphat (C_P), ammoniak (C_N) og magnesium (C_{Mg}) i rejektvand fra Aaby renseanlæg. Over den blå linje udfældes struvit.

Figuren viser, hvor meget struvit, der kan udfældes som funktion af pH. Produktet af den totale mængde opløste phosphat (C_P), ammoniak (C_N) og magnesium (C_{Mg}) er angivet på y-aksen. Vi vælger at bruge de totale koncentrationer af stofferne, da det normalt er disse, der måles i et analyselaboratorium.

$$C_P = [H_3PO_4] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [PO_4^{3-}]$$

$$C_N = [NH_4^+] + [NH_3]$$

$$C_{Mg} = [\ Mg^{2+}]$$

Figuren viser dermed, hvor høj koncentrationen af ammonium, magnesium og phosphat skal være, før der dannes struvit. Struvit dannes, når den blå linje krydses. Opløseligheden af struvit er lavest omkring pH 10, men hvis man skal udfælde struvit fra rejektvand, vil man ofte vælge en lavere pH-værdi, for eksempel 7,5.

På den måde kan man undgå at udfælde andre uønskede salte og justere pH ved tilsætning af kemikalier. Man kan udfælde struvit ved at koncentrere opløsningen ved for eksempel membraner, hvorved alle koncentrationerne stiger (C_P, C_N og C_{Mg}). Vi bevæger os herved lodret opad i figuren. Man kan også tilsætte magnesiumsalte, hvorved C_{Mg} vokser. Igen bevæger vi os lodret opad i figuren. Endelig kan man øge pH, for eksempel ved at tilsætte en base typisk natriumhydroxid eller gennemboble væsken med luft. Hvis væsken gennembobles, fjernes carbondioxid, hvorved nedenstående ligevægt forskydes, og pH stiger.

$$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2O(l)$$

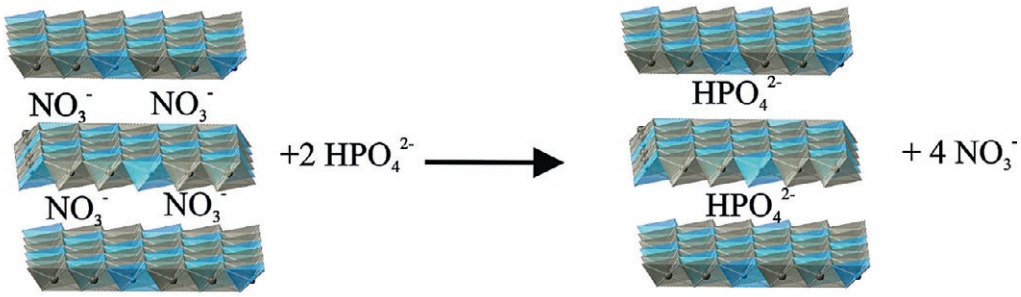
Hvis pH øges, svarer det til, at vi bevæger os vandret mod højre på figuren. pH-værdien for spildevand er typisk 7 – 8, så ved udfældning af struvit vil phosphaten afgive en hydron, når der dannes struvit, hvorved pH falder under udfældningen. Det er derfor ofte nødvendigt at tilsætte natriumhydroxid under udfældningen for at fastholde pH.

$$Mg^{2+}(aq) + NH_4^+(aq) + HPO_4^{2-}(aq) + 6\ H_2O(l) \rightleftharpoons MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O(s) + H_3O^+(aq)$$

Videre læsning
C. A. Quist-Jensen, J.M. Sørensen, A. Svenstrup, L. Scarpa, T.S. Carlsen, H.C. Jensen, L. Wybrandt, M.L. Christensen, *Membrane crystallization for phosphorus recovery and ammonia stripping from reject water from sludge dewatering process*, Desalination 440 (2018), 156-160

L. Vasenko and H. Qu, *Novel two-stage oxidation-crystallization technology for high purity calcium phosphates recovery from digester supernatant*, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 6 (2018), 2975-2982.

L. Lundehøj, J. Cellier, C. Forano and U.G. Nielsen, *Atomic level understanding of orthophosphate adsorption by magnesium aluminum layered double hydroxides – A multi-technique study*. Journal of Physical Chemistry C, 123 (2019), 24039-24050.



Indbygning af hydrogenphosphat i en MgAl-LDH ($Mg_2Al(OH)_6(NO_3) \cdot 2H_2O$ ved ionbytning med nitrat. Vandmolekylerne, der er placeret mellem lagene, er udeladt.

ionbytning med nitrat.

$$2\ LDH - NO_3(s) + HPO_4^{2-}(aq) \rightarrow (LDH)_2 - HPO_4(s) + NO_3^-(aq)$$

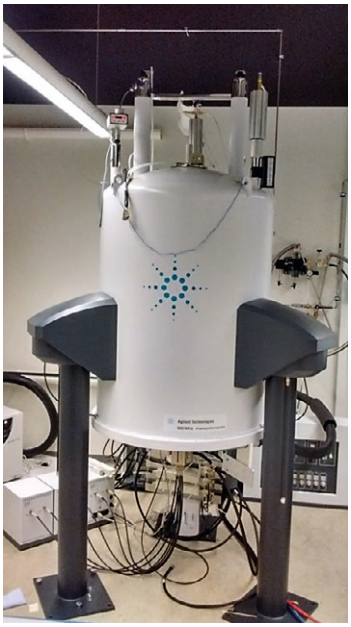
Phosphat kan frigives igen ved at overføre LDH-HPO_4 til en basisk opløsning. Herved fås en opløsning med høj phosphatkoncentration, og LDH gendannes, så det igen kan bruges til at binde phosphat.

Vi har testet LDH til at genindvinde phosphat fra spildevand. Vores forsøg bekræfter, at LDH binder phosphat, og at LDH virker ved lavere pH, hvilket er attraktivt, da koncentrationen af carbonat falder med pH på grund af en favorabel forskydning af ligevægten (se faktaboks). Derfor kan vi sænke pH og opløse mere phosphat fra rejektvandet og på den måde binde mere end 75% af phosphaten i spildevandet.

Nye muligheder

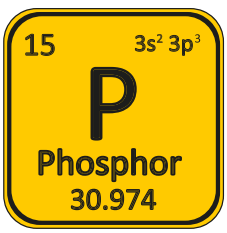
De nye teknologier, vi har udviklet i ReCoverP-projektet, gør det muligt at reducere kemikalieforbruget og samtidig producere meget rene phosphatforbindelser, der kan anvendes industrielt. Der er dog stadig nogle udfordringer inden teknologierne kan anvendes i stor skala. Vi er længst med oxidationsprocessen. På nogle renseanlæg har man allerede ozoneringsanlæg til at fjerne miljøfremmede stoffer i det rensede spildevand, og her vil det være oplagt at benytte ozon til oxidation. For de øvrige renseanlæg vil det være en billigere løsning at anvende hydrogenperoxid. Brugen af membraner og LDH kræver udvikling af nye materialer. Vi arbejder derfor med at udvikle ny membrantyper, så energitabet under processen reduceres. På den måde vil vandets temperatur ikke ændre sig for hurtigt under fordampningsprocessen. Desuden arbejder vi på at forankre LDH til et bæremateriale, der vil gøre det nemt at fjerne LDH fra rejektvandet, når det har bundet phosphaten.

Det meste af det phosphat, som kommer med spildevandet, bindes i det aktive slam under renseprocessen, men ikke alt frigives i rådnetanken. I dag frigives der typisk 25-30 % af phosphaten til rejektvandet under udrådningen, hvilket begrænser den mængde phosphat, der kan genindvindes som "rene" phosphatprodukter. Med en forbedret viden om de forskellige phosphatfraktioner og deres omsætning vil vi sikre, at meget mere phosphat optages i bakterierne, så genindvindingen af phosphat kan øges til 40-50 % i mange anlæg. De sidste 50-60 % af phosphaten vil fortsat bedst kunne udnyttes som biogødning i landbruget i form af afvandet slam.

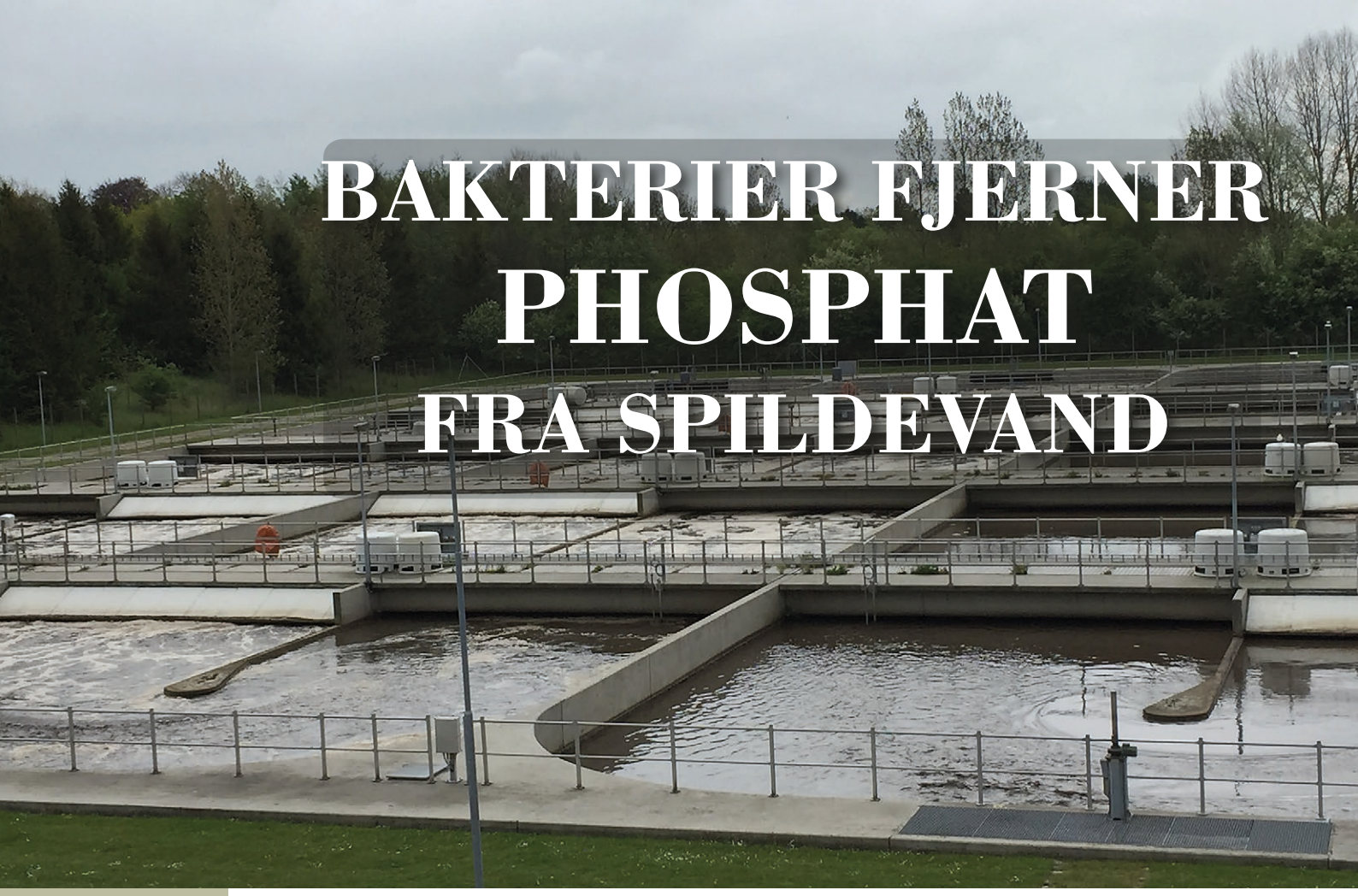


Avancerede analysemetoder som fx NMR (Nuclear Magnetic Resonance) er brugt til analyser af væskefasen i aktivt slam i ReCoverP-projektet. Foto: Ulla Gro Nielsen.

I dag har vi kun fire anlæg i Danmark, hvor der genindvindes struvit fra rejektvand, da indtjeningsmulighederne for struvit stadig er ringe. Faktisk er den vigtigste grund til at genindvinde phosphat i dag, at de øvrige driftsomkostninger på renseanlæggene derved reduceres. Når struvit genindvindes under kontrollerede forhold sikrer man, at koncentrationerne af opløst phosphat, magnesium og ammonium holdes så lave, at der ikke sker uønsket struvitudfældning, som kan medføre tilstopninger af rør, pumper og procestanke. Da det er dyrt at etablere genindvindingsanlæg, er det kun de større anlæg, hvor det økonomisk kan betale sig. Der sker dog en udvikling indenfor lovgivningen på gødningsområdet, som blandt andet kan medføre, at phosphatprodukterne fremover må anvendes til økologisk brug. Nye muligheder for brug af phosphatprodukterne, nye teknologier til genindvinding af phosphaten og ændrede priser på phosphat kan derfor på længere sigt betyde, at det bliver rentabelt at genindvinde phosphat fra langt flere anlæg end i dag. ■



I MORGEN BLIVER DER STJÅLET 21 BILER I DANMARK. VIL DU VIDE HVOR?
DATAVIDENSKAB
Big Data, machine learning, sandsynlighedsregning og datamining. Se ind i fremtiden med en uddannelse i Datavidenskab. Som ekspert i data kommer du til at mestre fremtidens vigtigste valuta.
datavidenskab.aau.dk
AALBORG UNIVERSITET



BAKTERIER FJERNER PHOSPHAT FRA SPILDEVAND

Om forfatterne

Per Halkjær Nielsen
er professor.
phn@bio.aau.dk

Marta Nierychlo er
staff scientist.
mni@bio.aau.dk

Francesca Petriglieri
er ph.d.-studerende
fp@bio.aau.dk

Alle er ved Institut for
Kemi og Biovidenskab,
Aalborg Universitet.

Kasper Reitzel er lektor
ved Biologisk Institut,
Syddansk Universitet
reitzel@biology.sdu.dk

Phosphat kan genindvindes fra spildevand ved hjælp af bakterier. Viden om, hvilke bakterier der kan optage og oplagre phosphat, deres levevis og deres betydning er vigtig for, at man kan optimere driftsbetingelserne for disse bakterier på renseanlæggene.

Biologisk fjernelse af phosphat på renseanlæggene sker ved hjælp af en særlig gruppe bakterier, som kan optage store mængder phosphat, hvis de rette driftsforhold er til stede. Bakterierne optager opløst phosphat fra spildevandet og opbevarer det som lagre af lange kæder af phosphat, kaldet polyphosphat. Dermed bindes en stor del af spildevandets phosphat i biomassen (kaldet det "aktive slam") uden brug af kemikalier. Slammet kan derefter direkte bruges som gødning efter afvanding eller overføres til rådnetank for biogasproduktion og videre forarbejdning med henblik på at genindvinde rent phosphat.

Phosphat i spildevand kan forekomme opløst, udfældet med Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+} og Al^{3+}, eller bundet i organiske forbindelser. Koncentrationen af phosphat i dansk spildevand er 5-10 mg P/l, og for at overholde de gældende EU-regler må det rensede spildevand højst indeholde til 0,5-1 mg P/l.

Den biologiske phosphatfjernelse har flere fordele frem for kemisk fældning. Først og fremmest skal der ikke tilsættes kemikalier, som er dyrt og giver anledning til "kemisk slam", der fylder op i renseanlægget. Dernæst bindes phosphat på en måde i bakterierne, som nemt kan genopløses som phosphat i modsætning til kemisk fældet phosphat. Det giver en bedre biotilgængelighed som gødning. Desuden kan phosphat nemmere genindvindes som struvit eller calciumphosphat (se artiklen side 21), når slammet har været i en rådnetank. I dag er der cirka 75 danske renseanlæg, som har hel eller delvis biologisk phosphatfjernelse, og de renser over halvdelen af det danske byspildevand.

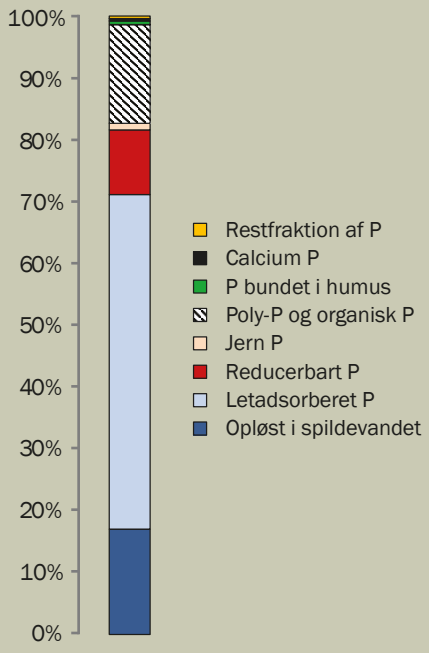
Særlige bakterier fjerner phosphat i renseanlæg

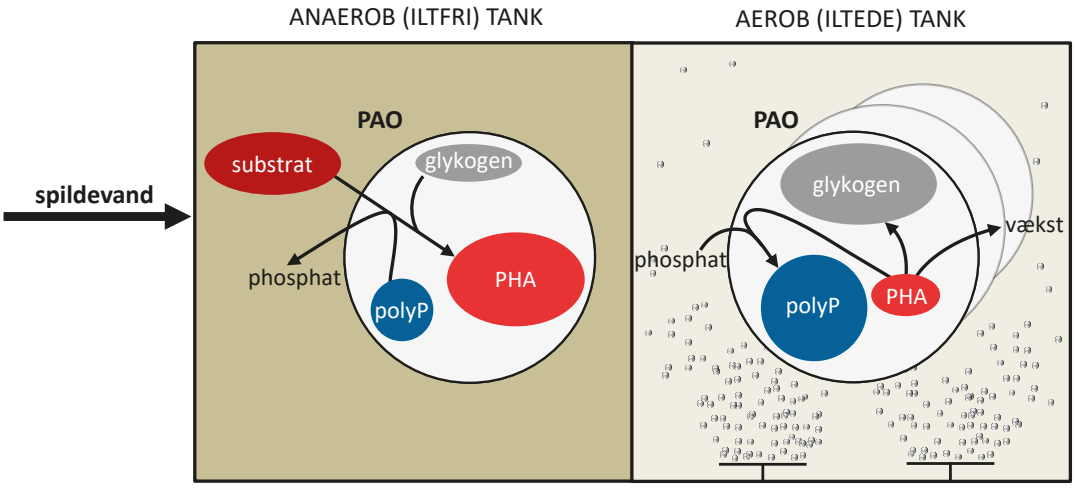
Nogle specielle bakterier, polyphosphat-akkumulerende organismer, er ansvarlige for optag af store mængder phosphat i biomassen. Indtil for nyligt har vor viden om identitet og karakteristika af disse bakterier været meget sparsom. Årsagen er, at man ikke kan isolere, dyrke og studere dem i laboratoriet, da de, ligesom langt de fleste bakteriearter i naturen, har særlige vækstbetingelser, som endnu ikke

Sammensætningen af phosphatforbindelser

Figuren viser sammensætningen af phosphatforbindelser i indløbsspildevandet til Ejby Mølle renseanlæg, Odense.

Det totale indhold er på cirka 10 mg P/l. Prøverne har gennemgået en række analyser, der samlet viser, hvorledes phosphat er bundet. Spildevandet indeholder en stor andel af opløst og meget let adsorberet phosphat, en organisk bundet fraktion og en fraktion bundet til reducerbart jern. Renseprocessen sikrer efterfølgende, at den relative andel af opløste og letadsorberede phosphater forsvinder og omdannes, mest til polyphosphat, i det aktive slam.





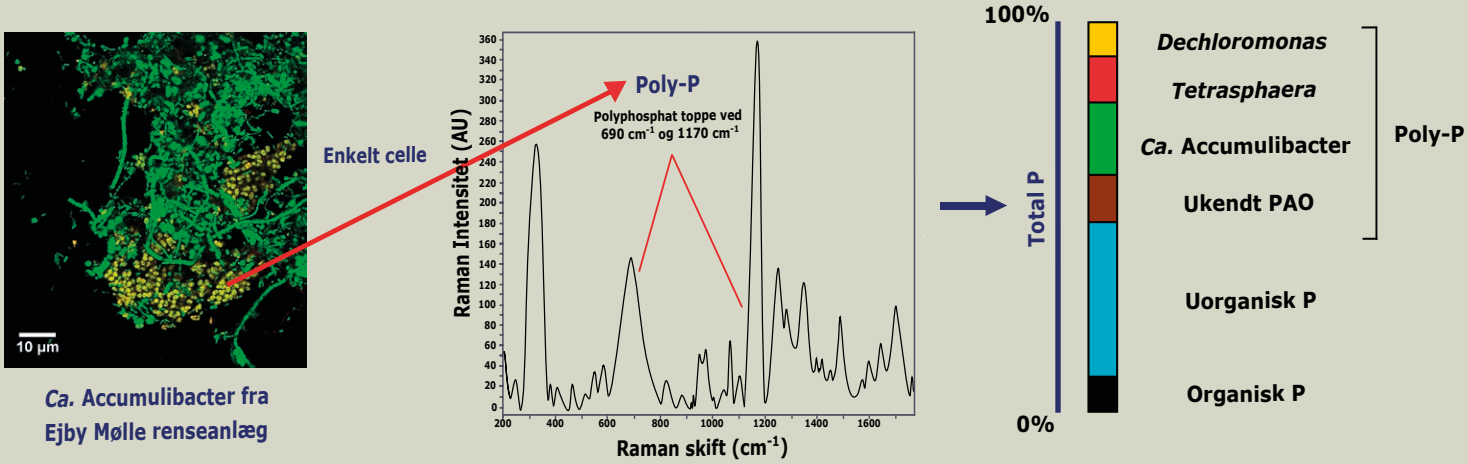
En stor del af den phosphat, som kommer ind med spildevandet, kan opsamles i visse bakterier som polyphosphat. Disse bakterier kaldes polyphosphat-akkumulerende organismer (PAO). Man kan sikre tilstedeværelse af disse organismer ved at skabe skiftende iltfri (anaerobe) og iltede (aerobe) forhold på renseanlæggene. I den anaerobe fase optager de substrat fra spildevandet og lagrer det, typisk som PHA. Energien hertil får de fra nedbrydning af polyphosphat og glykogen.

I den efterfølgende iltede fase, hvor der ikke er noget eksternt substrat til stede, optager de phosphat igen og vokser. Det sker ved at bruge PHA som energi- og kulstofkilde. Man høster dagligt biomasse med højt phosphatindhold fra den aerobe tank. Det kan direkte bruges som gødning på markerne eller kan overføres til rådnetanke, hvor polyphosphat frigives som phosphat og efterfølgende kan udfældes som struvit eller calciumphosphat.

er kendt. Vi kan derfor kun studere bakterierne i det aktive slam med indirekte metoder. For eksempel kan man identificere dem med DNA-baserede metoder, man kan visualisere dem med avancerede mikroskopimetoder, og man kan bruge en række forskellige teknikker, for eksempel isotoper, til at undersøge deres levevis.

De senere år har vi i MiDAS-projektet studeret mikrobiologien i danske renseanlæg. Vi har fundet, at alle anlæg har en overraskende ens artssammensætning, og at der i et typisk anlæg findes 2.000-3.000 bakteriearter, hvoraf langt de fleste findes i meget små mængder. De vigtige bakterier, som er til stede i en mængde over cirka 0,1%, udgøres af cirka 180 slægter og 200 arter. Vi har via ReCoverP-projektet fokuseret på at identificere og karakterisere nye polyphosphat-akkumulerende organismer, og vi kender nu 5 bakterieslægter, der har denne egenskab. De udgør samlet typisk 5-10 % af biomassen i anlæg med biologisk phosphatfjernelse.

Mængden af polyphosphat i bakterier



Ca. Accumulibacter fra Ejby Mølle renseanlæg

Mængden af polyphosphat i bakterier kan bestemmes med en kombination af teknikker kaldet FISH-Raman. Med en metode kaldet fluorescerende in situ hybridisering (FISH) kan man identificere og visualisere bestemte bakteriearter ved hjælp af særlige fluorescerende markører og fluorescensmikroskopi. Markørerne kræver, at man kender bakteriernes DNA-profil. Med Raman mikrospektroskopi kan man identificere og kvantificere bestemte kemiske stofgrupper direkte i de enkelte bakterieceller.

Ved at kombinere de to metoder kan man se, om de er polyphosphat-akkumulerende organismer ved at kvantificere deres indhold af polyphosphat og andre polymerer som PHA og glykogen under forskellige driftsforhold.

Figuren til højre viser, at cirka 50 % af al phosphat i det aktive slam findes som polyphosphat i polyphosphat-akkumulerende organismer, og resten findes primært som udfældede jern- og calciumphosphater.

At sikre tilstedeværelse af polyphosphat-akkumulerende organismer på renseanlæg kræver særlige driftsforhold: skiftende anaerobe (iltfrie) og aerobe (iltede) forhold, samt tilstedeværelse af organisk substrat under de anaerobe forhold. Disse organismer er nemlig ret unikke ved, at de er i stand til at optage og oplagre substrat under anaerobe forhold, som de så efterfølgende kan benytte til vækst, når ilt er tilstede. Renseanlæggene håndterer dette ved at have en tank, hvor slammet holdes anaerobt med tilførsel af spildevand i et par timer, hvorefter slammet føres over i en anden tank og iltes i et par timer. I den anaerobe fase optager de fleste polyphosphat-akkumulerende organismer kortkædede fedtsyrer (for eksempel eddikesyre), og oplagrer dem som energirige oplagsstoffer (poly-hydroxyalkanoater, PHA). Det koster energi, og den får bakterierne fra nedbrydning af deres oplagrede polyphosphat og glykogen, som begge er dannet i den tidligere aerobe fase. I den efterfølgende aerobe tank er der ikke noget opløst substrat, da der ikke tilføres spildevand, så her forbruger de polyphosphat-akkumulerende organismer det oplagrede PHA til vækst og til at danne glykogen. Samtidig optager de opløst phosphat og danner nye lagre af polyphosphat. Dermed opkoncentreres der store mængder af phosphat i organismerne, og det kan sammen med overskudsslammet høstes og overføres til rådnetank eller afvandes og benyttes som gødning.

Opdagelse af nye organismer

Indtil for nyligt har man anset en bestemt bakterieslægt, *Candidatus* Accumulibacter, for at være den dominerende polyphosphat-akkumulerende organisme i danske renseanlæg. Imidlertid har vi opdaget, at 2 andre slægter også er vigtige i de danske anlæg, nemlig *Dechloromonas* og *Tetrasphaera*. Da disse bakteriearter ikke nemt kan isoleres, har vi påvist, at de faktisk er polyphosphat-akkumulerende ved at kombinere to metoder direkte i det aktive slam. Den ene metode (kaldet FISH) benyttes til at mærke og visualisere bestemte bakteriearter med fluorescensmikroskopi, mens den anden metode er en spektroskopimetode (kaldet Raman), som kan identificere og kvantificere bestemte kemiske stofgrupper direkte i de enkelte bakterieceller. Ved at kombinere de to metoder kan man kvantificere organismernes indhold af polyphosphat og andre polymerer under forskellige driftsforhold.

Det har vist sig, at *Candidatus* Accumulibacter og *Dechloromonas* har en levevis, der passer godt med den traditionelle forståelse af polyphosphat-akkumulerende organismer beskrevet ovenfor, hvorimod Tetrasphaera har en noget anden levevis. Bakterier i denne slægt foretrækker aminosyrer og kulhydrater som substrat. De akkumulerer ikke PHA eller glykogen, men kan fermentere kulhydrater og dermed også vokse i den anaerobe fase. De bruger tilsyneladende deres optag og akkumulering af phosphat i den aerobe fase som en ekstra energikilde, som de kan benytte under anaerobe forhold.

Fælles for de fleste polyphosphat-akkumulerende organismer er også, at de i varierende omfang er involveret i fjernelse af nitrogen fra spildevandet via denitrifikation, hvor de benytter nitrat som elektron-acceptor i stedet for ilt og danner lattergas (N_2O) eller dinitrogen (N_2). De er derfor vigtige for både fjernelse af phosphat og nitrogen i de danske renseanlæg.

Konkurrence mellem biologisk og kemisk phosphatfjernelse

På de danske renseanlæg har det hidtil været meget uklart, hvor stor en del af phosphatfjernelsen, der sker henholdsvis biologisk og kemisk. Vi har derfor udviklet en ny metode (baseret på NMR = kernemagnetisk resonans) til at kvantificere den totale mængde polyphosphat i det aktive slam. Når vi sammenholder disse tal fra de danske anlæg, kan vi se, at der typisk bindes 20-50 % af slammets totale phosphatindhold som polyphosphat via polyphosphat-akkumulerende organismer. Resten er kemiske udfældninger og phosphat bundet i det organiske materiale.

Hvis man for eksempel ser på sammensætningen af phosphat i aktivt slam fra Ejby Mølle renseanlæg, som har en god biologisk phosphatfjernelse, så indeholder slammet 37 g P/kg tørstof, hvor det meste er bundet som polyphosphat i polyphosphat-akkumulerende organismer. Her er *Candidatus* Accumulibacter vigtigst, men de andre nye polyphosphat-akkumulerende organismer bidrager også væsentligt til fjernelsen. Der findes endvidere stadig nogle polyphosphat-akkumulerende organismer, som er ukendte.

Resultaterne fra dette renseanlæg og en række andre danske anlæg viser, at en relativ stor andel af phosphat i det aktive slam findes på andre former end den foretrukne polyphosphat. Det kan delvis skyldes, at noget phosphat kommer ind på anlægget via spildevandet som udfældet phosphat (især jern og calcium) og forbliver på denne form. Denne del kan vanskeligt genindvindes som "rent" phosphat. En del phosphat bliver imidlertid udfældet med jern eller aluminium på de fleste anlæg for at supplere den biologiske fjernelse, så man sikrer en lav udløbskoncentration af phosphat. Hvis den biologiske fjernelse og efterfølgende genanvendelse skal maximeres, skal disse kemikalietilsætninger derfor reduceres mest muligt fremover.

Optimering af biologisk phosphatfjernelse

En velfungerende biologisk phosphatfjernelse kan sikres ved, at renseanlægget er korrekt designet og driften optimal. Overvågning af mikrobiologien kan hjælpe med at sikre en god drift, da vi nu ved, hvilke bakterier der skal være til stede og i hvilke mængder. Vi er i gang med at udvikle DNA-baserede metoder til kontinuerlig analyse af deres tilstedeværelse, så det kan sikres, at de er til stede i rette mængder. Endvidere kan vor nye viden om deres levevis hjælpe til at sikre tilstedeværelse af det rette substrat (eddikesyre, aminosyrer og kulhydrater) i de rette tanke i anlæggene. ■

Videre læsning

Fernando, E.Y., S.J. McIlroy, M. Nierychlo, F.-H. Alexander, F. Petriglieri, M.C. Schmid, M. Wagner, J.L. Nielsen, and P.H. Nielsen (2019): *Resolving the individual contribution of key microbial populations to enhanced biological phosphorus removal with Raman-FISH.* ISME J. doi.org/10.1038/s41396-019-0399-7.

Nielsen, P.H., S.J. McIlroy, M. Albertsen, M. Nierychlo (2019): *Re-evaluating the microbiology of the enhanced biological phosphorus removal process.* Currrent Opinion in Biotechnology 57: 111-118.

Staal, L.B., A.B. Petersen, C.A. Jørgensen, U.G. Nielsen, P.H. Nielsen, K. Reitzel (2019): *Extraction and quantification of polyphosphates in activated sludge from waste water treatment plants by 31P NMR spectroscopy.* Wat. Res. doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.065.

Om MIDAS-projektet: midasfieldguide.org

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

SDU

Kunstnerisk gengivelse af den kataklysmiske kollision mellem den tidligere jord og en planet af Mars-størrelse, som antageligvis har ført til dannelsen af Månen.
Illustration: NASA/JPL-Caltech.

URAN
sladrer om alt fra solsystemets fødsel til dinosaurernes uddøen

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

Forholdet mellem to isotoper af uran kan give forskere et meget mere nøjagtigt indblik i begivenheder i forhistorisk tid. Forskere fra Københavns Universitet har finjusteret datering med uran, så de nu med endnu større nøjagtighed er i stand til at datere eksempelvis solsystemets fødsel og dannelsen af Månen.

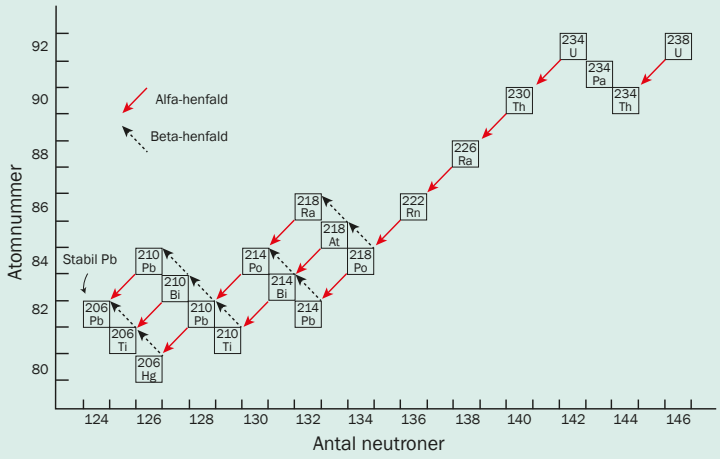
Uran! Det lyder som en ingrediens i en farlig bombe, og det er det da også, men uran er meget mere end det. Blandt andet bruger forskere uran til at datere alt fra solsystemets fødsel til tidspunktet for dinosaurernes uddøen. Forskere kan også bruge uran til at forstå udviklingen af Jordens atmosfære og til at få indsigt i den pludselige udvikling af komplekst liv på Jorden for 541 millioner år siden under den Kambriske Eksplosion. Når det gælder muligheden for at datere begivenheder over geologisk tid, findes der ikke et bedre ur end uran. Det er geologernes og astronomernes svar på et platinindfattet kvartsur fra Schweiz.

Præcision i dateringer, når det gælder det lange tilbageblik i Jordens historie, kan anskues på to forskellige måder. Der er nøjagtighed i forhold til at kunne datere et tidspunkt i geologisk tid, eksempelvis at kunne sige, at vores solsystem blev dannet for 4.567,30 millioner år siden. Her er nøjagtigheden, hvor tæt estimatet er på virkeligheden. Der findes dog også præcision i form af "præcision", eksempelvis at kunne sige, at vores solsystem blev dannet for 4.567,30 millioner år siden med en usikkerhed på +/- 0,16 millioner år. Her er de 0,16 millioner år præcisionen. Et estimat kan altså godt være meget nøjagtigt, men upræcist, eller sågar unøjagtigt, men meget præcist. Her vil usikkerheden være meget lille, men slet ikke overlappe den korrekte alder.

Netop nøjagtigheden har forskere

Om uran

Uran er et sølvgråt metal med nummer 92 i det periodiske system. Det er radioaktivt, fordi alle isotoper af uran er ustabile og henfalder til bly over tid med halveringstider på mellem 159.200 år og 4,5 milliarder år. Netop den lange halveringstid gør, at uran er så godt til at datere Jordens og solsystemets alder. Uran findes som tre isotoper, ^{234}U, ^{235}U og ^{238}U, hvor ^{238}U er den absolut hyppigst forekommende i naturen og udgør mere end 99 procent af alt uran.



Figuren viser henfaldskæden for uran-238, som gennem en række mellemprodukter ved alfa- og beta-henfald, ender med stabilt Pb-206. Kilde: www.usgs.gov

Uran er det eneste fissile grundstof, hvilket betyder, at det kan lave fission gennem henfald og splitte atomkernen op i mindre og lettere atomkerner. Fissionsprocessen producerer frie neutroner, gammafotoner og store mængder varme. Denne egenskab gør uran interessant i forhold til både at lave energi i atomkraftværker og altødelæggende bomber. Et kilo ^{235}U indeholder 20 terajoules energi, hvilket er det samme som 1.500 ton kul. Little Boy, der var navnet på den bombe, som amerikanerne smed over Hiroshima den 6. august 1945, var baseret på uran-fission, og energiudledningen lød på ækvivalenten til 12.500 kilo dynamit. 50.000 bygninger blev ødelagt, og 75.000 mennesker omkom.

Uran, der kun bliver dannet naturligt i supernovaer, er forholdsvist almindeligt i jordskorpen, hvor grundstoffet udgør 2 til 4 dele per million. Det gør uran meget mere almindeligt end sølv og også mere almindeligt end tin, cadmium, kviksølv og antimon. Uran er fortrinsvist bundet i sten, jord og vand. Selvom man ofte forbinder uran med bomber, atomkraftværker og dateringer af solsystemet, findes der faktisk også bakterier, som bruger uran som energiressource.

fra Københavns Universitet raffineret, så de i dag meget bedre kan sige, hvornår begivenheder fandt sted for mange millioner år siden.

»Når vi taler om eksempelvis at kunne fastslå solsystemets fødsel for mere end 4,5 milliarder år siden, er en præcision på 160.000 år meget præcist. I 1950'erne blev solsystemets alder beregnet til at være 4,55 milliarder år plus/minus 70 millioner år. Det oprindelige tal for solsystemets alder var korrekt, men med bedre præcision kan vi meget mere nøjagtigt vurdere kronologien i de begivenheder, som fandt sted dengang. Denne præcision er også nødvendig for at kunne lave bedre kronologier over begivenheder i Jordens lange historie,« fortæller manden bag forskningen, professor James Connelly fra Naturhistorisk Museum ved Københavns Universitet.

James Connelly benytter i sin forskning også uran til at fastslå indholdet af ilt i atmosfæren i forhistorisk tid, men mere om det senere.

Derfor er uran så godt til dateringer

At uran kan bruges til at fastslå tidspunkter for begivenheder i geologisk målestok skyldes, at det er et radioaktivt stof, som henfalder over tid. Over milliarder af år henfalder uran lidt efter lidt og bliver til bly i stedet for. Derfor kan forskere bruge forholdet mellem uran og bly i eksempelvis et mineral til at bestemme, hvornår mineralet blev dannet. Er mængden af bly i forhold til uran høj, blev mineralet formet for relativ lang tid siden, i forhold til hvis forholdet mellem bly og uran er lavt. Forskere benytter normalt indholdet af uran og bly i mineralet zirkon til at lave deres mest præcise beregninger, da zirkon er rigtig godt til at inkorporere uran i sin krystalstruktur og samtidig afviser bly til at starte med.

Derudover findes der forskellige isotoper af uran (U) og bly (Pb), hvor ^{238}U henfalder til ^{206}Pb over tid, mens ^{235}U henfalder til ^{207}Pb. ^{238}U til ^{206}Pb har en halveringstid på 4,47 milliarder år, hvilket vil sige, at halvdelen af alle uranatomerne henfalder til bly i løbet af 4,47 milliarder år, mens halveringstiden for ^{235}U til ^{207}Pb er på 704 millioner år. Netop den meget lange halveringstid gør uran særdeles velegnet i forhold til at datere geologisk tid, men da halveringstiderne for isotoperne er forskellige, skal forholdet mellem isotoperne tages med i beregningen, når forskere bruger uran til datering.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Om James Connelly

James Connelly er professor ved Centre for Star and Planet Formation, Globe Institute ved Københavns Universitet. Han er født og opvokset i Canada, hvor han også tog sin kandidatgrad og ph.d. samt efterfølgende to års postdoc-forskningsarbejde. Sidenhen blev han ansat ved University of Texas i Austin i 1994, hvor han med tiden fik stilling af professor med ansvar for et laboratorie, der var specialiseret i datering med uran- og bly-isotoper. I 2004 i forbindelse med et sabbatår ved Københavns Universitet begyndte han at studere meteoritter og flyttede permanent til København i 2009 ved etableringen af Centre for Stars and Planet Formation ved universitetet. Hans forskning går nu ud på at skabe mere præcise dateringer af meteoritter for ultimativt bedre at forstå Solsystemets dannelse.

»For at kunne lave så nøjagtige målinger som overhovedet muligt, er vi nødt til at kende forholdet mellem de to uran-isotoper ^{238}U og ^{235}U. I mange år har vi formodet, at dette forhold er 137,88, men inden for de seneste 10 år har flere målinger vist, at det ikke altid er tilfældet, og det påvirker nøjagtigheden i vores aldersberegninger,« forklarer James Connelly.

Når uran fraktionerer

At forholdet ikke altid er 137,88 skyldes et fænomen, der hedder fraktionering. Fraktionering opstår, når forskellige isotoper af samme grundstof ikke vejer det samme. Tag som eksempel en kedel med kogende vand. Vand består af H_2O, og oxygen findes som tre forskellige isotoper med forskellige vægte, ^{16}O, ^{17}O og ^{18}O. De forskellige vægte betyder, at de lette isotoper fordamper hurtigere end de tunge, når vandet koger, så efter noget tid vil der i kedlen være relativt mere ^{18}O i forhold ^{16}O, sammenlignet med da vi satte kedlen over.

Fraktionering er simpelthen et skifte i et grundstofs isotopiske sammensætning på grund af en hvilken som helst kemisk reaktion. Når det gælder ilt i kogende vand, er ændringen i den isotopiske sammensætning drevet af en vægtforskel mellem de forskellige oxygenisotoper, men ændringen behøver ikke skyldes en vægtforskel.

Når det gælder uran, har forskere altid troet, at der ikke ville være fraktionering, da den relative vægtforskel mellem ^{235}U og ^{238}U er meget lille. Det skyldes, at atomerne er så store, at vægtforskellen mellem dem bliver næsten ubetydelige. Et kilo fra eller til betyder også mere for et menneske end for en blåhval. Inden for de seneste 10 år har forskning dog vist, at der forekommer fraktionering i urans isotopiske sammensætning, og det har betydning for datering med uran og også i forhold til at bestemme mængden af ilt i havene og atmosfæren over geologisk tid.

I forhold til uran sker fraktioneringen, når uran bliver oxideret fra U^{4+} til U^{6+}, ved at to elektroner fjernes fra atomernes yderste orbital. På grund af størrelsesforskellen mellem de to isotoper såvel som pakningsforskellen i atomkernerne bliver den ene isotop lettere oxideret end den anden, og det er med til at skabe fraktionering.

»Vi er derfor nødt til at tage variationen i forholdet mellem ^{235}U og ^{238}U i betragtning, da det har indflydelse på nøjagtigheden i vores beregninger,« siger James Connelly.

For at øge nøjagtigheden i de geologiske målinger har James Connelly sammen med sine kollegaer målt på forholdet mellem ^{235}U og ^{238}U i zirkoner fra geologisk tid. Den fundne variation har de inddraget i nye beregninger af forskellige geologiske begivenheder for at kunne datere dem meget mere nøjagtigt.

Afviser meteorteori om livets udvikling

Et af de områder, hvor James Connelly har benyttet højpræcisionsmetoder med uranisotoper til at beregne geologisk alder, er i forhold til at fastslå, hvordan meteornedslag har spillet ind i udviklingen af liv på Jorden. For lige under 470 millioner år siden skete der to ting i vores solsystem, som nogle forskere hidtil har formodet var korreleret.

Den ene begivenhed var opbrydningen af en stor asteroide i asteroidebæltet, hvilket sendte store mængder meteorer mod Jorden. Disse meteorer rammer os stadig den dag i dag.

Den anden ting var “den store ordoviciske biodiversificeringsbegivenhed”, hvor livet på Jorden pludselig begyndte at tage mange flere forskellige former.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Sådan gør forskerne, når de skal datere en bjergart

For at kunne bruge bjergarter til at sige noget om Jordens udvikling over geologisk tid, er det nødvendigt at kende til alderen på de forskellige bjergarter samt have kendskab til de begivenheder, som har påvirket dem. En standardmetode til at gøre dette er ved at benytte zirkoner, der er et meget almindeligt mineral, som indeholder relativt store mængder uran (flere hundrede dele per million partikler). Uran findes naturligt i isotoperne ^{235}U og ^{238}U, som spontant henfalder til bly henover meget præcist fastlagte tidsintervaller.

For at kunne fastslå alderen på en enkelt zirkonkrystal, er forskerne først nødt til at knuse den sten, som zirkonen sidder i, og derefter opløse krystallen i en meget aggressiv syre under højt tryk og høje temperaturer. Efterfølgende skal forskerne oprense mængden af bly og uran i prøven. På grund af udstødning fra biler findes bly overalt i luften og miljøet, og derfor bliver forskerne nødt til at udføre dette arbejde under ultrarene betingelser.

Mineralet Zircon ($ZrSiO_4$) er det mest almindelige uran-bærende mineral brugt til uran-bly-datering. Kobbertråden på fotoet er 150 µm tyk.

Foto fra forskernes laboratorium med et massespektroskop. Foto: James Connelly.

Efter uran og bly er oprenset, bruger forskerne massespektroskopi til at fastslå antallet af atomer af hver af de to uran-isotoper i prøven og sammenholde det med antallet af bly-atomer, der er opstået på grund af henfald. Alderen på zirkonen finder forskerne frem til ved at sætte tallene for antallet af de forskellige isotoper ind i en simpel formel. Hele den ovenstående procedure fortsætter forskerne med på forskellige zirkoner, indtil de er sikre på resultatet.

Når først forskerne har bestemt alderen på en sten ud fra alderen på de indeholdte zirkoner, benytter de deres intuition og viden til at sætte det ind i en kontekst. Hvis forskerne eksempelvis daterer en vulkansk sten til at være én milliard år gammel, kan de ret let konkludere, at lavaen formentlig størknede for én milliard år siden i forbindelse med et vulkanudbrud.

Forskere har haft en idé om, at meteornedslagene i perioden efter opbrydningen af asteroiden på den ene eller anden måde har påvirket livets udvikling på Jorden og sat skub i en biodiversificeringseffekt.

Ved hjælp af datering med uranisotoper har James Connelly med kollegaer dog været i stand til at tidsfastsætte, at opbrydningen af den store asteroide skete for 468 +/- 0,3 millioner år siden. Midten af den geologiske tidsperiode Ordovicium, hvor den store biodiversificering fandt sted, lå derimod fra for 472,5 millioner år siden, hvilket gør, at meteornedslag ikke kan være årsagen til eksplosionen i livets diversitet. Livets udvikling skete simpelthen før, de nævnte meteorer begyndte at regne ned over vores lille blå planet.

Så gammel er Månen

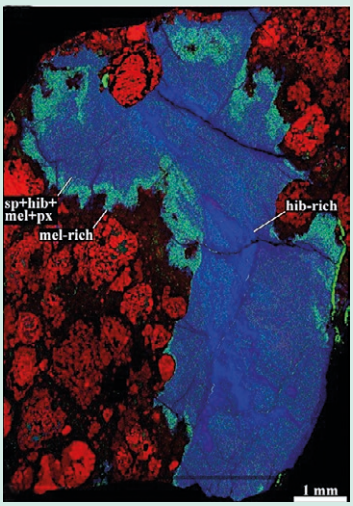
James Connellys forskning har også ledt til et yngre estimat af, hvornår Månen blev dannet.

Vores måne blev skabt, da to store himmellegemer kolliderede for cirka 4,5 milliarder år siden. Det meste af materialet faldt tilbage på det ene af disse himmellegemer og blev til det, som i dag er Jorden, mens noget af det materiale, som var længere væk, dannede månen.

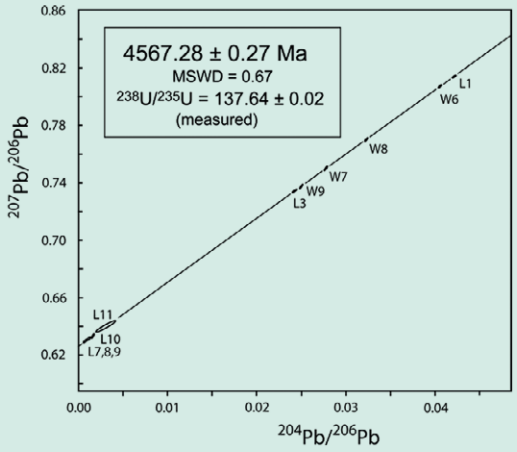
Mange forskere har gennem tiden benyttet forskellige metoder til at fastslå, hvornår denne kataklysmiske begivenhed fandt sted, og deres estimater spænder over et par hundrede millioner år omkring et tidspunkt for 4,51 milliarder år siden.

James Connellys mere præcise må-

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK



Billedet viser den calcium-aluminium-inklusion (blå-grønne farver), som blev analyseret for at opnå de data, der er vist i plottet. Illustrationer fra Connelly et al 2012.



Et plot af blyisotop-forhold fra et af de første objekter, der blev dannet i Solsystemet (en inklusion af calcium-aluminium fra en primitiv meteorit). Blyistop-forholdet der, hvor kurven skærer y-aksen, kan forskerne bruge til at udregne alderen på Solsystemet, nemlig 4567,28 ± 0,27 millioner år.

Videre læsning:
Connelly JN, Bizzarro M, Krot AN, Nordlund Å, Wielandt D, Ivanova MA. (2012): The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk. *Science*. Vol 338, p651-655.

linger peger dog på, at Månen blev formet for 4,426 til 4,417 milliarder år siden, hvilket er i den yngre del af estimaterne. Det er desuden inden for en meget snæver tidsramme på kun 9 millioner år.

I det hele taget er James Connellys forskningsgruppe meget interesseret i perioden lige efter solsystemets fødsel. Vi ved, at solsystemet blev dannet for 4,567 milliarder år siden, men kronologien i de efterfølgende begivenheder er uklar. Solen blev i sig selv dannet på blot 1 million år fra en gigantisk gassky, men endnu er det uvist, hvilke planeter der efterfølgende blev dannet først, og hvor de fik deres masse fra. Kun ved at kortlægge de enkelte begivenheder og sætte dem ind i en kronologisk rækkefølge, kan forskere begynde at besvare nogle helt fundamentale spørgsmål om den verden, vi tager for givet.

Forskernes store opgave er at finde frem til meget præcise estimater for tidsperioder, som ligger meget lang tilbage i tiden. Eksempelvis er det svært at komme med en præcis kronologisk rækkefølge for astronomiske begivenheder inden for de første 5 millioner år efter solsystemets fødsel, hvis alle dateringer af bjergarter fra perioden er +/- 5 millioner år.

»Kan vi derimod komme ned på +/- 0,1 millioner år, kan vi være mere sikre på, at den kronologi, som vi er kommet frem til, også er den rigtige. Det er det, vi arbejder på: At få nok præcision i vores dateringer, så vi kan sige noget om de første 5 millioner år af solsystemets eksistens. Man kan sammenligne problemstillingen med dinosaurernes uddøen. Det nytter ikke noget at konkludere, at en meteor udryddede dinosaurerne, hvis vi kun kan datere meteornedslaget til cirka det tidspunkt, hvor dinosaurerne uddøde +/- 5 millioner år. Vi er nødt til at vide, at meteoren faldt ned, før dinosaurerne forsvandt og ikke muligvis efter,« siger James Connelly.

Beregner fortidens indhold af ilt i atmosfæren

Et andet forskningsområde, hvor James Connelly har benyttet uran-isotoper til at blive klogere på fortiden, er i forbindelse med beregninger af ilt i atmosfæren og havet i geologisk tid.

I den sammenhæng er det vigtigt at pointere, at uran er følsomt overfor mængden af ilt i atmosfæren. Jo mere ilt, der er, des mere forskydes forholdet mellem ^{235}U og ^{238}U. Det betyder, at fraktionering kommer i spil, og i og med fraktionering ikke har været indregnet i tidligere estimater for iltindholdet i atmosfæren, har disse tidligere estimater ikke haft den samme præcision, som forskere kan opnå nu.

James Connelly er i den forbindelse i færd med et forskningsprojekt, hvor forskerne kigger på sammenhængen mellem stigningen i mængden af ilt i atmosfæren for omkring 500 millioner år siden og udviklingen af liv under den kambriske eksplosion.

»Det er den slags hønen-og-ægget-spørgsmål, som man kun kan besvare, hvis man har en meget præcis kronologi over begivenhedernes gang. Kun hvis vores målinger er præcise nok, kan vi begynde at se på samspillet mellem ilt i atmosfæren og livets udvikling. Er det sådan, at iltniveauet i atmosfæren ændrede sig, og livet på Jorden reagerede efterfølgende, eller skete det omvendt?« siger James Connelly.

At uran kan bruges til at bestemme ilt i atmosfæren for mange millioner år siden skyldes igen, at uran har to oxidationstrin, U^{+4} og U^{+6}. U^{+4} er ret uopløselig i vand, mens U^{+6} godt kan opløses i vand. Derudover opstår der fraktionering mellem uran-isotoperne, fordi det er en smule lettere at reducere ^{238}U end ^{235}U (omdanne fra U^{+6} til U^{+4}). Disse to ting sat sammen gør det muligt for forskerne at bestemme indholdet af ilt i atmosfæren i geologisk tid ved at kigge på isotopsammensætningen af uran i sedimenter, der blev aflejret for mange millioner år siden.

»Vi benytter bjergarter, der hovedsageligt stammer fra fossilerede dyr, fordi de findes overalt og ikke fraktionerer uran, når de bliver dannet. Det vil sige, at de repræsenterer, hvordan det så ud i havet den gang. Ved at kigge på forskellige sedimentlag, der blev dannet på forskellige tidspunkter, kan vi se på variationen i uran-isotoperne og forstå, hvordan iltniveauerne er steget og faldet i havet og deraf også udlede, hvordan de har været i atmosfæren,« forklarer James Connelly. ■

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

UDVISER SOCIALE CHATBOTS EMPATI?

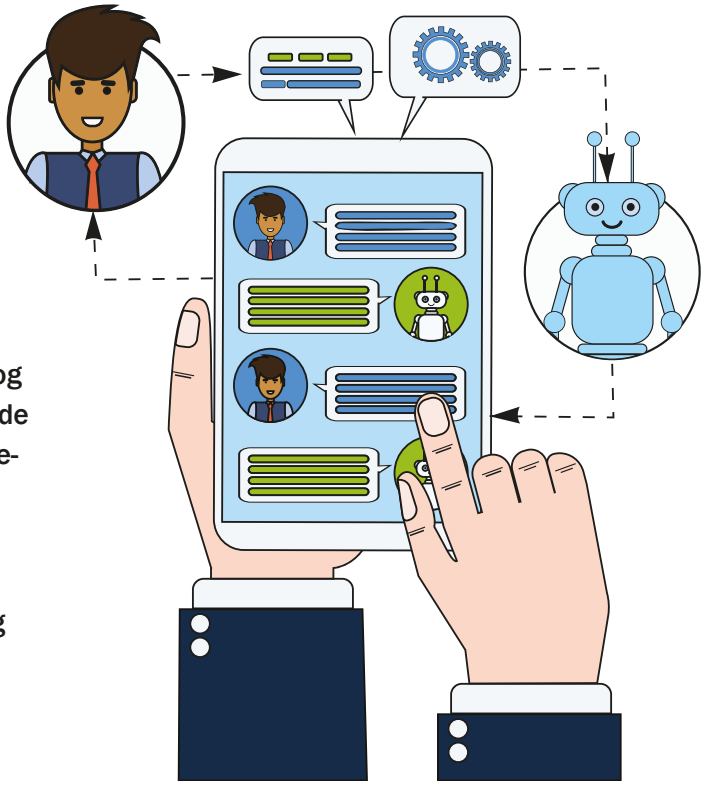


Illustration: Colourbox

Sociale chatbots bliver mere og mere avancerede. Men bliver de også mere og mere menneskelignende i den forstand, at de kan udvise empati?

Umiddelbart er svaret nej, viser en ny specialeafhandling fra Roskilde Universitet.

Selvom alle i dag taler om kunstig intelligens (KI), er det de færreste, der kender omfanget og konsekvenserne af den hurtigtvoksende teknologi. Fænomenet er i rivende udvikling, og hver dag kommer vi et skridt nærmere, hvordan man ved hjælp af nye matematiske beregninger, metoder og teknologier kan efterligne den menneskelige intelligens og hjernens tankeprocesser i en sådan grad, at systemer kan spejle menneskets sociale evner og interagere med os på en menneskelig overbevisende måde. I særlige tilfælde i en sådan grad, at det er svært at skelne mellem, hvornår vi kommunikerer med et menneske og en maskine. Et eksempel på disse KI-systemer er chatbots, som allerede er en integreret del af mange menneskers hverdag.

Menneskelige maskiner

Chatbots er kunstigt intelligente robotter, som man kan chatte med. De er designet som digitale assistenter, der kan håndtere og hjælpe med for eksempel problemer omkring køb af et produkt på en hjemmeside. De første chatbots så dagens lys i 1960'erne. Siden da, især i løbet af de seneste 10 år, er de blevet mere og mere almindelige i store firmaer som IKEA. Men de kan også benyttes som en virtuel ven for mennesker, der har brug for dialog og selskab i hverdagen. Derfor opstår der naturligt nogle etiske og moralske samfundsdilemmaer omkring mødet mellem menneske og maskine. For hvad betyder det for interaktionen, når det ikke længere er et virkeligt menneske, vi kommunikerer med, men i stedet en maskine, der forsøger at efterligne menneskelig intelligens?

Hvis en chatbot opfører sig menneskelignende i interaktionen med os, er det afgørende, at den

Om forfattere:

Jamilla Lynge, cand. scient. i Informatik og Performance Design, Roskilde Universitet
Forfatter til specialeafhandlingen *"Udviser sociale chatbots Theory of Mind?"* 2019
jamilla_lynge@hotmail.com

Kathrine Glargaard Andersen, cand.scient. i Informatik og Kommunikation, Roskilde Universitet
Forfatter til specialeafhandlingen *"Udviser sociale chatbots Theory of Mind?"* 2019
katglaand@gmail.com

Torben Braüner er dr. scient. og lektor i datalogi på Roskilde Universitet. Forsker i logik og anvendelsen af logik i datalogi samt kognitionsvidenskab og filosofi. Han var vejleder på ovennævnte specialeafhandling.
torben@ruc.dk

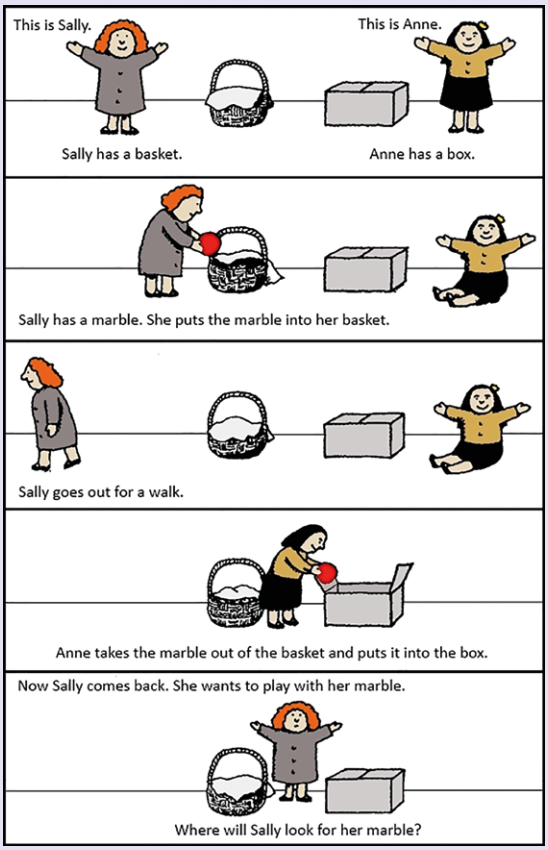
Empati og Theory of Mind

Empati er den menneskelige, sociale evne til at kunne sætte sig i en anden persons sted og opfattelse af virkeligheden og gør mennesket i stand til at mærke og forstå en andens følelse og emotionelle tilstand på egen krop og sind. Det psykologiske begreb Theory of Mind (ToM) blev udviklet af forskerne David Premack og Guy Woodruff i 1978 og er beslægtet med empati. ToM er en socialkognitiv evne til at kunne sætte sig i en anden persons sted og tilskrive både sig selv og andre mentale tilstande såsom overbevisninger ("beliefs"), hensigter, ønsker, viden, etc.

Forskellige variationer af psykologiske tests bruges verden over til at undersøge børns ToM. Psykologiske studier viser samstemmende, at typisk udviklede børn kan bestå disse tests fra omkring fire års-alderen, hvor evnen udvikles.

Den mest anvendte ToM-test er Sally-Anne Testen, som er udviklet af Simon Baron-Cohen, Alan M. Leslie og Uta Frith i 1995. Testen tager udgangspunkt i to dukker, Sally og Anne, som præsenteres for barnet, der testes. Sally placerer en kugle i en kurv og forlader rummet. Anne, som nu er alene, tager kuglen og gemmer den i en kasse. Sally kommer tilbage og barnet bliver spurgt: "Hvor vil Sally kigge efter sin kugle?" For at bestå dette 'Belief Question', skal barnet svare "kurven". Herved giver barnet udtryk for, at Sally har en falsk overbevisning (false belief), da hun ikke ved, at kuglen i virkeligheden er blevet gemt et andet sted. Herefter stilles to kontrolspørgsmål: "Hvor er kuglen i virkeligheden?" (Reality Question) og "Hvor var kuglen til at starte med?" (Memory Question).

Kontrol-spørgsmålene er afgørende for at sikre, at barnet både har viden omkring kuglens reelle, nuværende placering og en nøjagtig hukommelse og forståelse af dens tidligere placering.

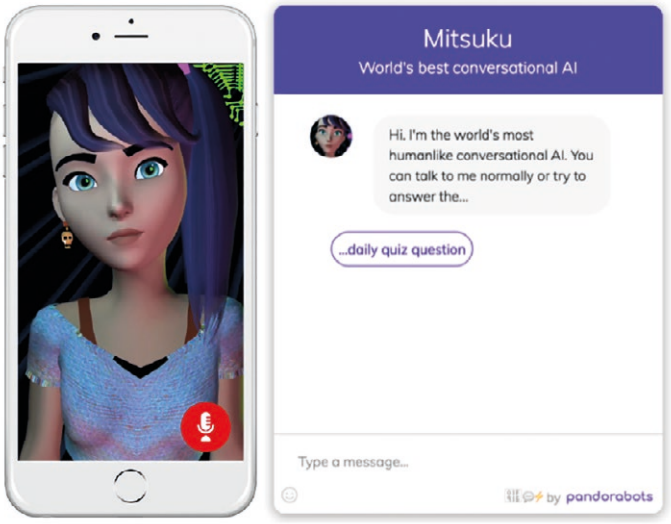


er i stand til at udvise en adfærd, der afspejler nogle af menneskets socialkognitive egenskaber såsom emotionel genkendelse, empati, moral, viden om sociale normer etc. Hvis ikke chatbotten er designet til at forholde sig til disse emotionelle faktorer i dialoger omkring eksempelvis psykiske problemstillinger, er der en risiko for, at de kan vildlede mennesker og rådgive dem forkert i en sårbar og psykisk ustabil situation, hvor mennesket er særlig modtagelig overfor chatbottens eksakte råd og formuleringer. Hvis et menneske tager imod psykologisk behandling eller rådgivning fra et individ, som ikke forstår eller kan sætte sig i menneskets psykiske tilstand eller sted, må det forventes at kunne medføre betydelige konsekvenser og gå ud over menneskets psykiske ve og vel.

I netop denne sammenhæng er en evne som empati, der er nødvendig for at kunne forstå samt sætte sig ind i andres følelser og sted, særlig vigtig for chatbots. Men hvordan kan man undersøge, hvor menneskelignende en chatbot i praksis opfører sig i interaktionen med mennesker? Det kan man ved hjælp af den såkaldte Turing-test, opkaldt efter matematikeren og logikeren Alan Turing (1912-1954), der i øvrigt er den moderne datalogis fader.

Turing-testen er en metode til at afgøre, om en maskine *udviser* intelligens som et menneske (Turing-testen afgør således ikke, om en maskine virkelig *er* intelligent, for eksempel om den har bevidsthed). Turing-testen går ud på, at et menneske og en maskine er placeret i hvert sit lukkede rum, og en dommer (et menneske) uden for rummene skal forsøge at afgøre, i hvilket rum henholdsvis mennesket og maskinen befinder sig. Dommeren må spørge om hvad som helst, men har kun elektronisk kommunikation til rådighed, der ikke afslører, om man kommunikerer med en maskine eller et menneske.

Turing-testen har siden 1990 været anvendt i den såkaldte Loebner Prize konkurrence, der er en formel realisering af Turing-testen. Konkurrencen blev lanceret af opfinderen Hugh Loebner med formålet om at finde det mest menneskelignende



Chatbotten Mitsuku har vundet Loebner Prize konkurrencen fem gange.

kunstigt intelligente chatbot-system, som aktuelt er på markedet.

Hvor langt er vi nået i dag?

Chatbotten Mitsuku har vundet Loebner Prize konkurrencen hele fem gange og markedsføres i dag som verdens mest menneskelignende chatbot. Derfor må Mitsuku blandt andet forventes at udvise tegn på empati i en skriftlig dialog med et menneske.

Netop det har to af denne artikels forfattere (Kathrine Glargaard Andersen og Jamilla Lynge) undersøgt i en specialeafhandling i informatik fra Roskilde Universitet. Konkret undersøgte specialet, om chatbotten Mitsuku er i stand til at udvise Theory of Mind (empati) på niveau med typisk udviklede børn i fire års-alderen, da det typisk er omkring denne alder, at mennesker udvikler empatiske egenskaber.

Undersøgelsen af Mitsuku blev udført med udgangspunkt i Turing-testen, som den anvendes i Loebner Prize konkurrencen, hvor man gennem skriftlig kommunikation med chatbotten søger nogle bestemte svar. Det er derfor en brugbar testmetode i forhold til at spore nogle empatiske træk i interaktionen mellem et menneske og et chatbot-system.

I specialet blev problemstillingen grebet empirisk an ved at udsætte Mitsuku for en række standard psykologiske Theory of Mind-tests, der bestod af skriftlige fortællinger med tilhørende spørgsmål på fem forskellige niveauer med stigende sværhedsgrad.

På trods af, at testene på forskellig måde blev indskrænket og tilpasset chatbottens teknologiske muligheder og kunnen, lykkedes det kun i meget begrænset omfang for Mitsuku at udvise en grad af Theory of Mind, der udvises af typisk udviklede fire-årige børn. Det skyldes formentligt to ting.

Chatbotten havde for det første svært ved at forstå fortællinger med flere sætninger, uanset hvad de handlede om. Når en sætning indeholder mange ord og betydninger, er Mitsuku kun i stand til at håndtere forståelsen af godt én sætning ad gangen. Det gjorde testene, som tog udgangspunkt i små fortællinger, særligt udfordrende for Mitsuku at formulere korrekte svar til – men også for Kathrine og Jamilla, da testspørgsmålene skulle reduceres til en længde, hvor Mitsuku kunne holde styr på det, hvilket ofte var vanskeligt. For det andet har Mitsuku en tendens til at "efterabe", forstået sådan, at systemet kopierer tekststykker, man allerede har skrevet til den i et testspørgsmål. Man kan altså ikke vide sig sikker på, om Mitsuku selv formulerer sine svar ud fra en reel forståelse, som pudsigt nok ligger utrolig tæt op ad formuleringer, man allerede har "fodret" systemet med tidligere – eller om chatbotten rent faktisk kopierer de ord og input, den tidligere har fået. Det skabte store fejlkilder, da man ikke kan være sikker på, om chatbotten reelt udviser empati, eller om den blot taler en efter munden. Selvom specialets studier tog højde for disse faldgruber, for eksempel ved oftest at anvende korte, skriftlige fortællinger, viste der sig kun ringe sammenhæng mellem Mitsukus status som verdens mest menneskelignende chatbot og det, at kunne udvise sociale evner som empati.

Nok er kunstig intelligens gennem årene blevet dygtigere til at kommunikere med os og forstå vores sprog, men der synes endnu ikke at være udviklet chatbots med en generel sproglig kapacitet, så chatbots kan udvise menneskelige socialkognitive evner som Theory of Mind – heller ikke selvom de markedsføres som "menneskelignende". ■

Loebner Prize konkurrencen

- Konkurrencen blev lanceret i 1990 og afholdes én gang årligt.
- Selve konkurrencen består af fire runder, hvor hver chatbot parres med et menneske. Fire dommere chatter med hvert par (en chatbot og et menneske), hvorudfra de skal afgøre, hvem der er chatbotten, og hvem der er mennesket.
- Til sidst rangerer dommerne de fire chatbots efter, hvor menneskelignende de formår at svare sammenlignet med menneskets svar.
- Førstepladsen tildeles chatbot-systemet med den højeste samlede score.

Mere information

Andersen, K. G. & Lynge, J. (2019). *Udviser social chatbots Theory of Mind?* Specialeafhandling i Informatik, Roskilde Universitet. Tilgængelig via Det Kongelig Bibiliotek.

Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence i Mind. Oxford University Press: Mind Association. S. 433-460

Worswick, S. (2018b). *Mitsuku wins Loebner Prize 2018!* https://medium.com/pandorabots-blog/mitsuku-wins-loebner-prize-2018-3e8d98c5f2a7

Wellman, H. M. and Liu, D. (2004), *Scaling of Theory-of-Mind Tasks.* Child Development, 75: 523-541.

ALDRIG MERE ALENE

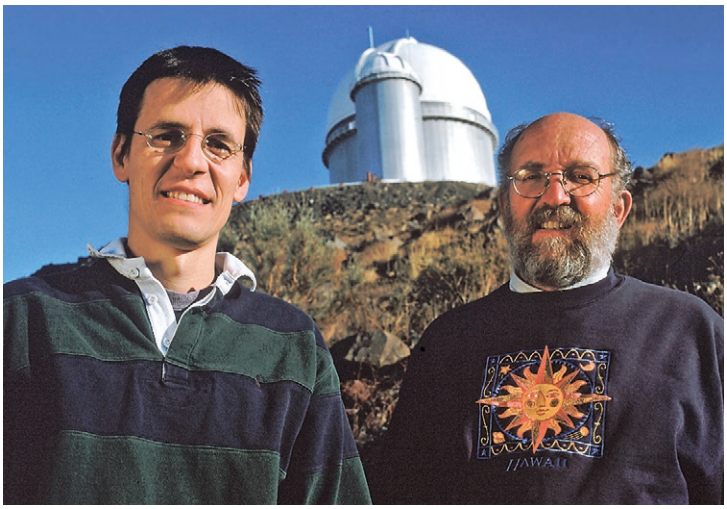
Det astronomiske verdensbillede ændrer sig dramatisk for tiden. Nye planeter kommer til dagligt, og nogle af dem ligner mistænkeligt meget Jorden. Forfatteren til en ny bog om jagten på exoplaneterne fortæller her, hvorfor vi står på tærsklen til en ny videnskabelig revolution.

Michel Mayor havde bedt om ti minutter. Egentlig var den schweiziske astronom indbudt til en paneldebat uden plads til individuelle oplæg, men han havde noget vigtigt at sige. Derfor havde han skrevet til organisatoren om de ti minutter. Nej, lød svaret, du kan få fem.

Paneldebatten var en del af en astronomisk konference, som blev afholdt i oktober 1995 i Firenze. Godt 300 kilometer mod syd og næsten 400 år tidligere var den iltre filosof Giordano Bruno blevet brændt på bålet i Rom for at sige det samme, som Mayor nu ville gentage foran verdenspressen: At der findes planeter i kredsløb om andre stjerner end Solen. Bruno havde tænkt sig frem til deres eksistens. Mayor havde målt dem.

I bogen *Fjerne kloder*, som netop er udkommet på Gyldendal og baseret på interviews med 40 forskere fra ind- og udland, fortæller jeg historien om opdagelsen af disse planeter uden for Solsystemet – de såkaldte *exoplaneter* – og iveren efter at finde liv på dem. Og jeg vil påstå, at Mayors fremlæggelse af det første fund den dag i oktober blev startskuddet til en ny astronomisk revolution, som måske ikke er set større, siden Solen og Jorden byttede plads i 1600-tallet.

Et halvt år før konferencen var Mayor og hans ph.d.-studerende



De to nobelprismodtagere Didier Queloz (tv) og Michel Mayor (th) ved La Silla-Observatoriet i Chile. De får halvdelen af nobelprisen i fysik 2019 for den første opdagelse af en exoplanet. Privatfoto.

Didier Queloz faldet over nogle mystiske udsving i deres observationer af den ellers anonyme stjerne 51 Pegasi. Stjernen så ud til at slingre. Mod Jorden, væk fra Jorden, mod Jorden, væk fra Jorden. Den slingrede så regelmæssigt, at det så ud, som om noget skubbede til den. Dette "noget" kunne være en planet. Ligesom Solen bliver påvirket af tyngdekraften fra planeterne omkring den, kan andre stjerner mærke et puf fra omrejsende planeter.

Indtil 1995 mente de fleste astronomer, at det var spild af tid at lede efter planetslinger, for den var for svag til at kunne måles. Solsystemets største planet Jupiter får for eksempel kun Solen til at slingre med en hastighed på 12 meter per sekund frem og tilbage.

Mayor og Queloz var også selv skeptiske i begyndelsen. Deres hypotetiske planet var så tæt på dens moderstjerne, at den burde være blevet både brændt og blæst i stykker. Sølle fire dage tog den om at nå rundt om stjernen. Mayor forhørte sig diskret blandt kollegerne: »Kan en planet lidt mindre end Jupiter have en omløbstid på få dage?« De fleste forstod ikke spørgsmålet.

Til konferencen i Firenze endte Mayor med at opbruge al tiden afsat til paneldebatten – 45 minutter. Det var et historisk øjeblik, og det blev selvfølgelig foreviget på video, men det forlyder, at optagelsen er gået tabt i en skilsmissestrid (ikke Mayors). På videoen ville man ellers ifølge vidner kunne se, at den nye planet, 51 Pegasi b, ikke just blev

Om forfatteren
Gunver Lystbæk er journalist på Weekendavisen og har en ph.d. i videnskabsstudier fra Aarhus Universitet.
guve@weekendavisen.dk

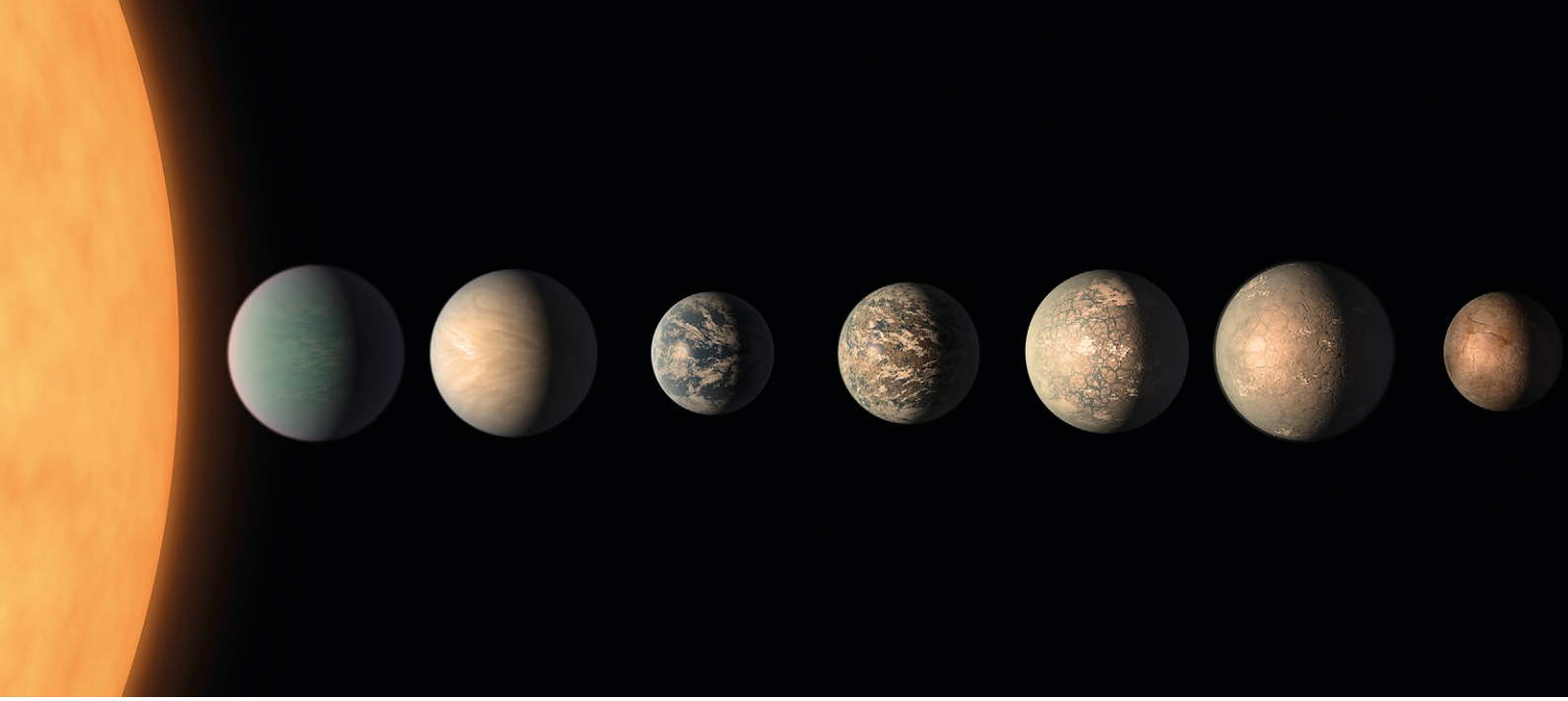


Illustration af Trappist-1-planeterne, som består af hele syv jordlignende planeter. Grafik: NASA/JPL-Caltech.

budt velkommen til Jorden med stående applaus. Nogle var skeptiske, og andre, formentlig de fleste, ænsede ikke før lidt senere, hvad de havde været vidne til. Måske på grund af den fransktalende Mayors lettere utydelige engelsk. Måske fordi man i miljøet gennem et par århundreder havde været vant til annonceringer af exoplaneter, der senere viste sig at være fatamorganaer. I dag er der fundet over 4000 exoplaneter, og estimaterne går på, at der er flere af dem end stjerner i Mælkevejen.

Fra spot til nobelpris

Astronomer er nattemænd. De er vågne, når vi andre sover. De holder øje med rummet omkring os, og aftalen er, at de skal vække os, når de finder noget stort. Sådan et fund er exoplaneterne. Hvor vi før troede, at Solsystemet er noget unikt, og at planeter kun kan dannes i zoner med særligt fintunede forhold, skal vi nu forestille os et univers fyldt med kloder i alle tænkelige størrelser og konsistenser.

Der er fundet planeter lettere end flamingo og tungere end bly. Planeter så gamle som Universet og så varme som stjerner. Der er iskloder, vandkloder, lavakloder, kanonkuglekloder og dampkloder. Der er kloder med to, tre og fire sole på himlen.

Vores hidtidige viden om planeter er med andre ord et klodsmajortårn, der lige er væltet. Tag for eksempel planeten 55 Cancri e, hvis højde og drøjde passer med, at den er lavet af diamant. Eller Gliese 436 b, der måske består af brændende is. Exoplanetfeltet er så ungt, at det mere er præget af undren, uvidenhed og frustrationer end af sikker viden.

Udviklingen er dog gået ekstremt stærkt. Den moderne teknik til at finde planeter med blev først udviklet i 1970'erne og modnet i 80'erne. Dengang var de under en håndfuld planetjægere. I dag »kan du næsten ikke længere få teleskoptid uden at skrive noget om exoplaneter ind i ansøgningen«, som den canadiske professor emeritus Gordon Walker fortæller i *Fjerne kloder*.

Walker var en af de allerførste i verden til seriøst at lede efter exoplaneter sammen med kollegaen Bruce Campbell. Eller det vil sige, seriøst mente de færreste dengang, at projektet var.

En anden pioner, Geoff Marcy, oplevede, at han lige så godt kunne have ledt efter små grønne mænd.

Marcy løj i sine ansøgninger for at få teleskoptid og fik alligevel kun de nætter med fuldmåne, hvor forholdene var ringest, mens Walker og Campbell måtte nøjes med seks til otte nætters observationstid om året. Campbell var med til at grundlægge den moderne planetjagt, men ham kunne jeg ikke interviewe til bogen. Han forlod astronomien bitter og nedbrudt. Han var endda tæt på at tage en stor luns af historien med, da han slettede alle sine data på vej ud ad døren. Det tog et år at genskabe dem, og derefter blev de tilbageværende gruppemedlemmer enige om, at der nok ikke var planeter i dem. Men det var der. Tilfældigheder gjorde, at Campbell i dag er skattekonsulent og Mayor nu får en nobelpris i fysik.

Jagten på krible-krable

De senere år har der været mange små revolutioner i astronomien. Radioteleskoperne er kommet til, og Universet er blevet relativistisk med strækbar tid og rum, men ingen af de nybrud har fået os til at revurdere vores egen plads i rummet. Ingen af dem har for alvor skubbet til vores verdensbillede.

Det har exoplaneterne til gengæld potentiale til at gøre, for de kan huse liv. Det er derfor, der er tale om en videnskabelig revolution. Vi ved allerede, at Jorden ikke er alene, men er en blandt milliarder af jorde, og vi står på tærsklen til at finde ud af, om vi, de levende organismer, heller ikke er det.

Der er over 30 milliarder sollignende stjerner i Mælkevejen, og mellem hver fjerde og hver femte kan huse en jordlignende planet i den zone, hvor vand kan holde sig flydende. Det er ikke så underligt, at mange astrobiologer i disse år dropper Mars og i stedet kigger efter udenjordisk liv hinsides Solsystemet.

En dansk pioner

Under researchen til bogen dukkede også en dansker op blandt foregangsmændene i jagten på exoplaneter, som de færreste nok har hørt om: Kaj Aage Strand (1907-2000).

Han blev astronom fra Københavns Universitet i 1931 med speciale i at måle dobbeltstjerner ved hjælp af astrometri. I 1938 tog han til Sproul Observatory i USA, hvor han begyndte at studere dobbeltstjernen 61-Cygni. Ved hjælp af fotografiske glasplader kom han i 1943 frem til, at »den eneste løsning, som vil passe med de observerede bevægelser, giver en bemærkelsesværdig lille masse på 1/60 af Solens eller 16 gange Jupiters. Med en masse betydelig mindre end den mindste kendte stjernemasse må den mørke ledsager have en iboende lysstyrke så ekstrem lille, at vi må betragte den som en planet i stedet for en

stjerne. Det betyder, at planetariske bevægelser uden for Solsystemet er fundet.«

Man skulle tro, at brølene fra Anden Verdenskrig overdøvede Strands fund, men artiklen fik faktisk ganske stor opmærksomhed blandt astronomer, og den var medvirkende til, at planetjagten for en stund blev taget alvorligt, og at datidens herskende teori om, at planeter var sjældne, blev revideret.

Fundet af en planet omkring 61-Cygni blev tilbagevist i 1970'erne, da det viste sig, at der var fejl på de fotografiske plader. I anledningen af min bog har astronomen Geoff Marcy ledt efter "Strands planet" blandt de nyeste observationer af 61-Cygni lavet med et af verdens kraftigste teleskoper, W. M. Keck Observatoriet på Hawaii. Det kunne have været smukt, men han fandt den ikke.

Den amerikanske flådes største teleskop står i øvrigt ved Flagstaff i staten Arizona, og det har fået navnet Kaj Strand Astrometric Reflector (KSAR).

Man kan ikke sende rumsonder i kredsløb om exoplaneter, for slet ikke at tale om at sende en rover ned på overfladen.

Direkte billeder er der også få af, og små planeter på størrelse med Jorden kan vi endnu ikke se i et teleskop. Al vor viden om exoplaneter har vi fået ved at studere moderstjernen og dens lys.

»Kend din stjerne, kend din planet,« som astrofysikeren Siddharth Hegde fra Cornell University siger.

Kunsten er altså at finde spor efter liv i stjernelys. Og her taler vi om det simpleste liv som bakterier. Observerer man Jorden på flere lysårs afstand, er mikroorganismer paradoksalt nok nemmere at få øje på end de ellers så larmende og forurenende mennesker.

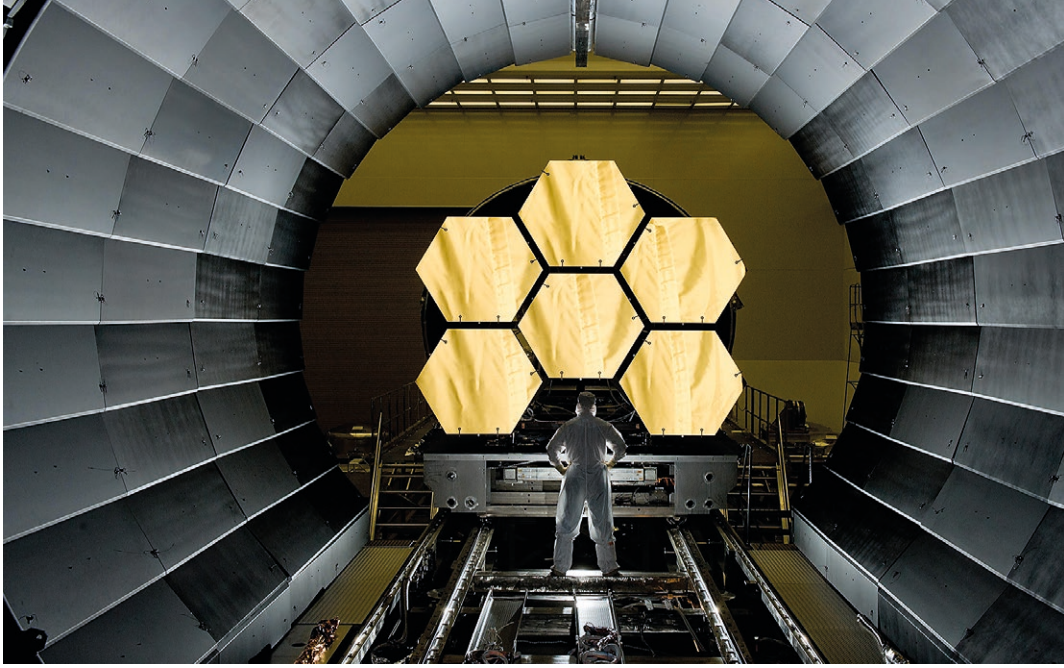
Liv har det nemlig med at forstyrre en planet. Det laver uorden i den kemiske balance. Et hyppigt brugt eksempel er tilstedeværelsen af ilt og metan på samme tid i Jordens atmosfære. De to gasser er ellers hinandens dødsfjender og ville udradere hinanden – hvis ikke det var, fordi de hele tiden bliver tilført til atmosfæren af fisende og bøvsende mikroorganismer. Kemi og fysik kan altså ikke alene pumpe en atmosfære fuld af ilt og metan, der skal biologi til. Derfor er mange astrobiologer ivrige efter at finde ilt og metan samtidigt på exoplaneterne.

Her kommer canadisk-amerikanske Sara Seager ind i billedet. Hun er en af flere astrobiologer, der portrætteres i bogen, og hun er et autistisk geni og måske vor tids Columbus. Hvis nogen kan finde liv i rummet, er det hende. Som ph.d.-studerende var hun den første til at udtænke, hvordan man i stjernelys kan lede efter gasser i exoplaneters atmosfærer.

Når en exoplanet befinder sig mellem Jorden og dens stjerne, skinner stjernens lys gennem planetens atmosfære. Når stjernelyset rammer Jorden, medbringer det altså information om planetens atmosfære. Det er den gode nyhed: Vi kan godt, i teorien. Og Seager er i øjeblikket i gang med at gennemtrawle lange lister over kemiske stoffer – 14.000 stoffer i alt – for at finde frem til, hvilke vi kan bruge som såkaldte *biosignaturer* og lede efter i planetatmosfærer. »Det ville være ærgerligt at overse noget,« som Seager fortæller om baggrunden for sin lange liste.

Den dårlige nyhed er, at vi ikke har nogen teleskoper på Jorden eller i rummet, som kan finde stoffer som ilt og metan i en exoplanets atmosfære. Vi må vente på superteleskoper som James Webb Space Telescope og Extremely Large Telescope – hvis de da overhovedet bliver stærke nok til at se biosignaturer som ilt.

Ellers må vi vente på næste, næste generation af teleskoper, der endnu kun er pdf-filer. Som for eksempel LUVOIR, et rumteleskop dobbelt så stort som James Webb, eller det jordbaserede Colossus Telescope med 58 spejle, hver på otte meter i diameter.



En del af det nye James Webb Space Telescope, som bliver verdens største rumteleskop. Her ses seks af de i alt 18 guldbeklædte spejle. Foto: NASA/MSFC/ David Higginbotham.

Artiklen er trykt med tilladelse fra Weekendavisen, der bragte den d. 23. august 2019 med samme titel. Ændret mht. nobelprisen.

Angsten for ensomheden

Faktisk er der en del venten i feltet for tiden. Revolutionen er ganske vist begyndt, men vi venter på forsyninger. Ud over at ingen nutidige teleskoper kan lede efter liv, har vi heller ikke noget udstyr, der kan finde yderligere planeter på størrelse med Jorden i den rette afstand omkring sollignende stjerner, såkaldte "jordtvillinger". Dem, vi har fundet med rumteleskopet Kepler, er for langt væk til, at vi kan studere deres atmosfærer, og Kepler er løbet tør for brændstof. Columbus mangler sit skib. Nye skibe er ved at blive bygget, som det europæiske rumteleskop PLATO, men der går nogle år.

Imens kan vi passende fortsætte med at filosofere over, hvad for noget liv der måske findes derude, hvor vi skal lede, og om vi skal til at bygge hemmelige jordhuler i tilfælde af, at vi får vækket noget uheldigt.

Jeg frygter ligesom mange andre ensomheden mere end krig med marsmænd. Den afdøde engelske astronom James Jeans – der dog selv var skeptisk over for exoplaneter – beskrev tanken om et goldt univers som »rædselsvækkende«. Jordboerne er sociale dyr. Vi bliver skøre og angste ved tanken om al den spildte plads i rummet.

Jeg tror, Universets jantelov er streng, og den har ikke lavet andet de seneste årtusinder end at formane os om, at vi ikke er noget særligt. Solen er almindelig, Jorden er almindelig, og vi er ikke i centrum for noget som helst.

Jeg kan dog godt regnestykkerne, som tilhængere af hypotesen om den sjældne jord turnerer rundt med: Der er ikke flere milliarder jordtvillinger i galaksen, kun nogle tusinde, hvis vi tager højde for, at moderstjernen skal have den samme masse, grundstofsammensætning og alder som Solen. Hvis vi også skal tage højde for, at det jordiske liv er afhængigt af forhold som en stabiliserende måne og beskyttende gaskæmper som Jupiter, nærmer tallet sig én. Men det er kun, hvis vi forestiller os, at livet skal have udviklet sig og se ud præcist ligesom det på Jorden. Det er for fantasiløst og for geocentrisk.

Jeg har ikke lavet nogen rundspørge blandt kilderne til bogen, men det lader til, at især biologerne er skeptiske over for udenjordisk liv, mens astronomerne er mere håbefulde. Måske er det, fordi biologerne ved, hvor svært det er at bygge en DNA-streng. Det skal man dog ikke tage så tungt. Biologerne er blevet taget på sengen mange gange i historien.

I november 2017 var nogle af USA's fremmeste planetjægere samlet i Laramie i staten Wyoming, USA for at diskutere beboelige planeter. Nogle dage inde i mødet fik de stillet spørgsmålet: »Vil beviser for liv på en exoplanet blive opdaget inden 2040?« Nej, svarede 47, mens 29 stillede sig på ja-siden. Det viser, at der er stor optimisme i feltet. Havde man i 1994 spurgt, om vi ville finde exoplaneter inden år 2000, ville fire femtedele nok have svaret nej. ■

De danske planetjægere

Omkring 40 forskere er interviewet til Fjerne kloder, heriblandt medlemmer af de tre danske grupper, der i øjeblikket studerer exoplaneter.

Professor i astrofysik Lars Buchhave leder en gruppe ved DTU Space, der især specialiserer sig i studier af exoplaneters atmosfære. Buchhave var den første dansker til at gå ind i den moderne planetjagt, efter den første exoplanet blev fundet i 1995. Han tog dele af sin uddannelse på Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics i Boston, hvor mange af pionererne i feltet holder til.

Stellar Astrophysics Centre ved Aarhus Universitet ledet af Jørgen Christensen-Dalsgaard er verdensførende inden for studier af såkaldte stjerneskælv, som kan afsløre et væld af informationer om stjernens kredsende planeter. Centret blev oprettet på baggrund af Aarhus-astronomernes samarbejde med NASA om Kepler-rumteleskopet.

Uffe Gråe Jørgensen er nyudnævnt professor i exoplaneter ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Han var en af de første til at bruge mikrolinsemetoden til at finde exoplaneter med. Metoden udnytter, at lyset fra en baggrundsstjerne kan blive forstærket af en forgrundsstjernes tyngdefelt, og huser forgrundsstjernen en planet, vil lyset fra baggrundsstjernen blive ekstra forstærket.

Videre læsning

Gunver Lystbæk Vestergård: Fjerne kloder – historien om opdagelsen af exoplaneter og jagten på verdener som vores. Gyldendal 2019.

Hans Kjeldsen, Kai Finster og Tina Santl Temkiv: Er der liv derude? Aktuel Naturvidenskab 6/2012.

Uffe Graae Jørgensen: 10 milliarder planeter som Jorden – hvor er beboerne? Aktuel Naturvidenskab 6/2012.

Mia Sloth Lundkvist: Planeter fordamper i stjernens skær. Aktuel Naturvidenskab 1/2018.

OPLEV UNIVERSITETET INDEFRA

BLIV **STUDERENDE FOR EN DAG**

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

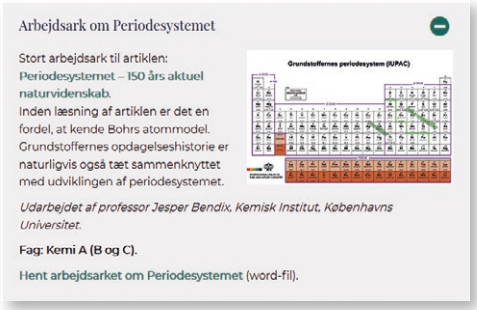
Oplev studielivet, kom med til undervisning og stil dine spørgsmål til den universitetsstuderende, som du følger, mens du er 'studerende for en dag'.

Fotografer: Anders Trærup og Lars Kruse, AU Foto

Læs mere og tilmeld dig på

SCITECH.AU.DK/STUDERENDEFORENDAG

AARHUS UNIVERSITET
SCIENCE AND TECHNOLOGY



Undervisningsmaterialer

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

Du kan fx finde et arbejdsark til artiklen *Periodesystemet – 150 års aktuel naturvidenskab* fra nummer 4-2019. Arbejdsarket er udarbejdet af forfatteren til artiklen, Jesper Bendix fra Københavns Universitet, og består af 28 spørgsmål indenfor temaerne: Periodesystemets historie, periodicitet, kemiske variationer i periodesystemet og naturlig forekomst af grundstofferne. Da alle arbejdsark kan downloades som word-filer, er det let at udvælge de spørgsmål, der passer til undervisningens niveau.

Test din viden i Aktuel Naturvidenskabs quizzer, der har udgangspunkt i artikler fra bladet. Prøv for eksempel den nye quiz, der bygger på artiklen *Matematikere kortlægger menneskets forhistorie* fra nr. 4/2019.

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

Redaktionsgruppe

- **Birgitte Dalgaard,** Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Birgitte Svennevig,** Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer,** Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard,** Aktuel Naturvidenskab
- **Sanne Holm Nielsen,** Aalborg Universitet
- **Signe Hansen,** Viborg Gymnasium og HF
- **Nanna Birk Jensen,** Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen,** Roskilde Universitet

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

NORDISK MILJØMÆRKNING Svanemærket tryksag 5041-0801

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:
Rensningsanlæg ved Nakskov på Lolland.
Foto: Colourbox.

POST
PP DANMARK
SORTERET MAGASINPOST
ID-nr. 46144
Al henvendelse til:
Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
T: 87152094

En verden uden Amanda

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Får du nervøse trækninger, når nogen snakker om digitalisering på arbejdspladsen? Eller tænker du nærmere: Aaaah – så bliver alting nemmere? Ja, det afhænger uden tvivl af dine konkrete erfaringer. Hvad end du måtte mene, er digitalisering kommet for at blive. At det så ikke altid går så let – og nogen gange helt galt – kan vi heller ikke komme uden om. Listen over skandaleramte eller kuldsejlede IT-projekter i den offentlige forvaltning, er i hvert fald lang. Tænk bare på EFI, som skulle automatisere og effektivisere inddrivelsen af skattegæld, men som nu er sat på hold. Eller på alle danske IT-skandalers "moder" – det milliarddyre Amanda – som blev sat i drift i 2003 med det formål at registrere data om arbejdsledige, men som viste sig både ustabilt og mere tidkrævende end de procedurer, det skulle erstatte.

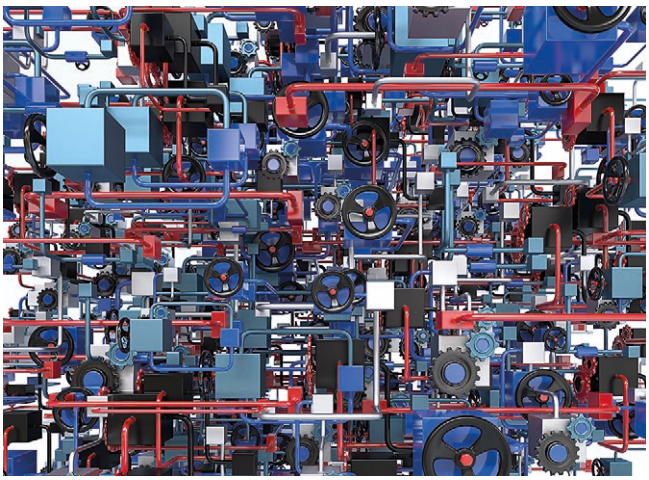


Foto: Shutterstock.

Når projekter kuldsejler

Hvis man skal digitalisere sin organisation vil man selvfølgelig meget gerne undgå en ny "Amanda". Men hvordan gør man så det? Man bruger da bare ny teknologi udviklet af blandt andet dataloger ved Københavns Universitet! Eller sådan læste jeg umiddelbart en nylig pressemeddelelse fra Københavns Universitet, og det lyder jo næsten for godt til at være sandt. Så jeg får straks fat i kilden til historien, Thomas Hildebrandt, der er professor ved Datalogisk Institut og som forsker i digitalisering af arbejdsgange og forretningsprocesser.

Han fortæller, at et af grundproblemerne ved fejlslagne IT-projekter er, at de som regel tager udgangspunkt i en analyse af organisationens arbejdsgange, som man omsætter til forkromede rutediagrammer og efterfølgende sætter IT-folk til at digitalisere.

»Men den fabriksagtige tilgang virker kun på meget forudsigelige processer – og sådan er virkeligheden i komplekse organisationer jo i praksis aldrig,« siger Thomas Hildebrandt. »Inden man får set sig om, er projekterne blevet for store og komplekse, og virkeligheden når at overhale dem, før de er taget i drift. Og i mellemtiden har man fyret dem, der kender arbejdsgangene, som digitaliseres, og når man opdager, at de digitale arbejdsgange ikke er tilstrækkelige, mangler man så kompetencerne til at udfylde hullerne og holde de digitale arbejdsgange ved lige.«

Regler der er til at forstå

Thomas Hildebrandt fortæller, at den nye teknologi, som han har udviklet i samarbejde med IT Universitetet i København og virksomheden DCR Solutions, har en mere enkel og agil tilgang, der tager udgangspunkt i at beskrive de regler og love, som en offentlig myndighed skal overholde.

»I stedet for at gå i detaljer med, hvornår man skal gøre hvad, præsenterer systemer med den nye teknologi brugeren for en tjekliste med aktiviteter, der skal være udført for at en opgave er løst. Det skaber rum for, at medarbejderen kan udføre arbejdet på sin egen måde, så længe reglerne er overholdt,« fortæller han. Den nye teknologi bygger på et formaliseret regel-sprog kaldet Dynamic Condition Response (DCR) som er et eksempel på et såkaldt 5. generations programmeringssprog.

»DCR adskiller sig fra tidligere sådanne sprog ved, at reglerne kan forstås og beskrives af sagsbehandlere og fagfolk – både fordi den rette balance er fundet mellem udtrykskraft og forståelighed, og fordi der er udviklet designværktøjer, hvor man kan forbinde beskrivelser af arbejdsgange og regler skrevet i naturlig tekst med de formelle regler og validere logikken ved at simulere og analysere arbejdsgange,« siger Thomas Hildebrandt. »Samtidig er der udviklet en regel-motor, som kan integreres i eksisterende og nye it-systemer, herunder flere af KMD's systemer, der anvendes i det offentlige. Alle, der ønsker at understøtte arbejdsgange og forretningsprocesser digitalt, kan derfor bruge teknologien«, siger han. Han vil trods alt ikke garantere, at man helt kan blive vaccineret mod fejlslagne IT-projekter. »Men hvis vi kan vende 50 års blind fokus på "rute-diagrammer", vil meget være vundet,« slutter han. ■