NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

DE USYNLIGE VANDFALD

Dansk DNA-detektiv hjælper engelsk politi

Termodynamikkens fjerde hovedlov

Kvantefeltteori – fra en otte sider lang formel til bagsiden af en serviet

NR. 4 - 2018 SEPTEMBER: 50 KR.

Dataloger bør afspejle samfundet

Hvis vi skal skabe fremtidens digitale verden, som tilgodeser alle borgere, har vi brug for dataloger, der afspejler samfundets sammensætning. Derfor har vi også brug for kvindelige dataloger. Det kan vi også få, hvis vi gør op med de kulturelle myter om faget.

Jeg vil gerne udfordre myten om, at datalogi ikke er for kvinder og samtidig slå fast, at stereotypen om den kønsdiskriminerende, mandlige nørd, der sidder alene i sin kælder og hacker løs på et tastatur, er langt fra fremtidens virkelighed som datalog. Fremtidens datalog kan være en kvinde, en mand eller noget helt tredje. Fremtidens datalog har en samfundsfaglig baggrund, en humanistisk baggrund, en naturvidenskabelig baggrund eller en tværfaglig baggrund. Fremtidens datalog forstår brugerne af den nye teknologi, der bliver skabt. Fremtidens datalog går ud og undersøger nye muligheder og behov for teknologi i for eksempel organisationer og designer teknologiske løsninger, der fundamentalt vil ændre verden.

Derfor skal der gøres op med myterne om, hvad datalogi og en datalog er for nogle størrelser. Ikke mindst i forhold til de vrangbilleder og mangel på kvinder i branchen, som blandt andet populære tv-serier såsom *The IT Crowd* og *Silicon Valley* giver udtryk for. Eller efterdønningerne af "Gamergate", hvor mandelige computerspillere har angrebet stærke kvindelige personligheder, der påpeger kønsdiskrimination i computerspil-design. Synet på datalogi skal ændres, hvis valg af uddannelse og karriere indenfor datalogi skal være attraktiv for folk med forskellige interesser og baggrunde. Fremtidens studie- og arbejdsmiljø indenfor datalogi skal være et sted, hvor diversitet bliver opfattet som en styrke.

Skæv kønsfordeling kan knækkes

Informationsteknologien har direkte betydning for, hvordan vi agerer i samfundet. Både på arbejde, i familien og i fritiden. Netop derfor er det yderst vigtigt, at personer, der skaber IT-teknologi, repræsenterer de forskelligheder, som eksisterer i samfundet. Datalogerne skal *sikre,* at ny teknologi understøtter individers, gruppers og organisationers potentiale. Og – ikke mindst – holde øje med, at vigtige aspekter af menneskelig forståelse og interaktion ikke bliver begrænset eller overset, når vi som dataloger designer ny teknologi. Derfor har samfundet brug for dataloger med forskellig faglige baggrunde.

Pernille Bjørn er p.t. den eneste kvindelige professor ved Datalogisk Institut, Københavns Universitet. Hun er desuden gæsteprofessor ved University of Washington.
pernille.bjorn@di.ku.dk

Men desværre er der stor mangel på datalogi-studerende, der bryder med datalog-stereotypen – eksempelvis er der få kvindelige dataloger. Den gode nyhed er dog, at dette ikke skyldes "biologi", men derimod er et kulturelt fænomen. Det betyder, at vi kan gøre noget ved problemet. Manglen på diversitet indenfor datalogi er pudsigt nok kun et problem i de vestlige lande som USA og Danmark. Studier fra for eksempel Israel viser, at datalogiuddannelsen på israelsk-arabiske uddannelsesinstitutioner har 61% kvindelige studerende.

Til sammenligning var bestanddelen af datalogistuderende kvinder på for eksempel Københavns Universitet kun 9 % i 2016. Selv om den steg til 11 % i 2017, er der stadig lang vej til en mere lige fordeling. På det førende amerikanske universitet Carnegie Mellon (CMU) var situationen i 1995 den samme som i Danmark med kun 9 % kvindelige datalogistuderende. Men gennem initiativer og klare strategier lykkedes det at komme op på 35 % i år 2000, og i dag er der 50 % kvindelige studerende. Vi kan altså løse problemet.

Nye veje ind i datalogien

Derfor jeg har skabt initiativet Femtech.dk på Datalogisk Institut Københavns Universitet (DIKU). Strategien i Femtech.dk er at fortælle alternative historier om datalogi gennem teknologi. Særligt til personer med samfundsfaglige eller humanistiske baggrunde. Og som ikke er specielt interesseret i IT. Vores mål er at skabe "digitale objekter", der vækker nysgerrighed og overrasker gennem vores brug af uortodokse materialer som stof og flamingo i samspil med programmering. Vi vil gerne udfordre, at interaktion med teknologi foregår via tastatur og skærme, men at det i stedet for eksempel kan skabes gennem menneskers interaktion med tekstiler og bevægelsessensorer.

Vi tager det alvorligt, at kvinder generelt undervurderer deres egne evner indenfor teknologi. Hvis man vil have større bredde på datalogiuddannelserne, kan det ikke nytte noget, at man forudsætter at de studerende allerede kan programmere, når de starter på studiet, og at det at lære at programmere bør være koblet til noget alment meningsfuldt – som at skabe en mere miljørigtig verden. Disse tanker har vi forsøgt at implementere i et kick-start-kursus for studerende, der ikke har programmeret, inden de begynder på uddannelsen.

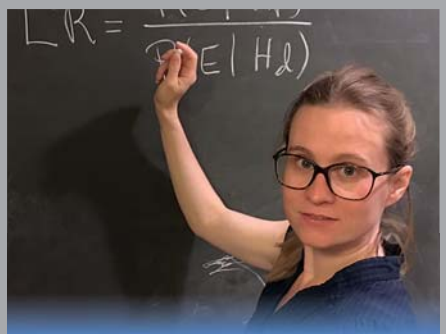
Min forskning i gennem de sidste mange år i forskellige lande har vist mig behovet for forskellighed og tværfaglighed indenfor datalogi, hvis vi skal skabe fremtidens digitale verden. Datalogi har brug for alt fra business til humaniora – alt fra kommunikation til informatik.

Vejen frem går ikke gennem reklamekampagner, men via en gennemtænkt opbygning af gode fagmiljøer, der er inkluderende for alle studerende, og hvor forskelligheder bliver set som en styrke. Det handler om at ændre den kulturelle forståelse af faget, hvis vi skal ruste os til fremtiden. ■

indhold

At man kan udvinde energi ved at blande saltvand og ferskvand, lyder næsten for godt til at være sandt. Men der arbejdes nu på at gøre teknologi, der kan udnytte denne "saltkraft" – et usynligt vandfald – kommercielt rentabel. **8**

En gruppe af små nøjsomme vandplanter risikerer helt at forsvinde fra Danmark som resultat af 150 års dramatiske ændringer af landskabet. Men studier af disse forandringer viser os også, hvordan vi måske kan stoppe tilbagegangen. **20**



I en række drabssager har den danske forsker i statistik Therese Graversen hjulpet engelsk politi med at sandsynliggøre en gerningsmand. Hun bruger en unik metode, som allerede har skrevet engelsk retshistorie. **13**

Eksperimenter går ikke altid, som man regner med. Ting går galt, og man får mærkelige resultater - men hvad betyder det for videnskabens metode? **36**

FORSKNING OG NYHEDER

4 Kort Nyt
8 De usynlige vandfald
13 Dansk DNA-detektiv hjælper engelsk politi i drabssager
17 Grønlandsk mudder kan redde sultne
20 Faren ved at være en lille nøjsom plante
26 Fysikernes hemmelige våben
30 Kvantefeltteori - fra en otte sider lang formel til bagsiden af en serviet

PERSPEKTIV - DEBAT

2 SYNSPUNKT: Dataloger bør afspejle samfundet
36 Termodynamikkens fjerde hovedlov
40 Kræft og malariaprotein
41 Willers-konkurrencen
44 BAGSIDEN: Fossilfri for 150 kr.

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver
Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

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

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

Redaktion
Redaktører Jørgen Dahlgaard og Carsten Rabæk Kjaer
Tlf.: 87 15 20 94
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk
Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

AALBORG UNIVERSITY
AALBORG ESBJERG COPENHAGEN

AARHUS UNIVERSITET

KØBENHAVNS UNIVERSITET
DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET

SDU
DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET

SDU
DET TEKNISKE FAKULTET

RUC
Roskilde Universitet

SPONSOR-ABONNENTER

GRUNDFOS

novo nordisk®

Fremtidens batterier er lavet af svampe

Batterier, der er lavet af svampe. Det kan blive til virkelighed efter forskerne Jens Laurids Sørensen og Jens Muff fra Aalborg Universitet i Esbjerg har udviklet en velfungerende og bæredygtig prototype af et batteri af biologisk materiale fra svampe. Teknologien er lige så effektiv som konventionelle batterier, men langt mere skånsom og bæredygtig for miljøet. Inden for de kommende år vil den kunne revolutionere den måde, vi lagrer strøm på. Potentialet er kæmpestort, siger lektor Jens Laurids Sørensen.

Jens Muff og Jens Laurids Sørensen fra Aalborg Universitet med prototypen af svampebatteriet. Foto: AAU

Det bæredygtige batteri

Udviklingen inden for batterier går hurtigt i disse år. Skiftet fra fossile brændstoffer til grøn energi fra vind og sol gør det tvingende nødvendigt at kunne lagre strøm på en effektiv måde, så vi har adgang til energi, når solen ikke skinner, eller når det ikke blæser.

I dag bliver de fleste batterier lavet med sjældne metaller som lithium eller af restprodukter fra olieindustrien. Det betyder, at batterierne sætter et voldsomt klimaftryk – både når de bliver produceret, men også når de skal kasseres. Derfor har de længe været et miljøtungt led i en stadig mere miljøvenlig energiforsyningskæde.

Med den svampebaserede batteriteknologi kan de aktive stoffer dyrkes i sukkervand i et laboratorium. Når kapaciteten er opbrugt og batteriet skal skiftes ud, er de resterende stoffer 100 procent biologisk nedbrydelige.

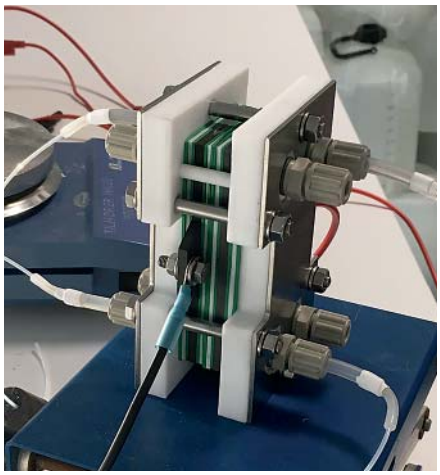
Den energiske skimmelsvamp

Ideen til at bruge stoffer fra skimmelsvampe til at lagre energi er aldrig før set i verdenshistorien, og den ligger heller ikke lige for, medmindre man er en ægte svampenørd. Og det er Jens Laurids Sørensen heldigvis.

Skimmelsvampe kan skifte farve når de bliver udsat for lys. Det gør de ved hjælp af nogle pigmenter, forklarer han. Det er egentlig en forsvarsmekanisme hos skimmelsvampe, som de bruger, hvis de fx bliver udsat for UV-stråling. Svampenes pigmenter har den egenskab at de kan oxidere og reducere – de kan ophobe og aflade energi. Det er præcis de samme egenskaber, som man ser i batterier.

Selvom det første svampebatteri kun er omkring 1,5 volt, beviser det, at teknologien fungerer i virkeligheden og ikke kun i teorien.

Lige nu arbejder forskerne sammen med to ph.d.-studerende på at forfine blandingen af teknologi og biologi og finde frem til de bedst egnede svampepigmenter. Deres genetiske sammensætning skal analyseres, isoleres og dyrkes i et laboratorium, inden de kan ende i et batteri.



Nærbillede af prototypen. Foto: AAU

Når vores projekt udløber om tre år, skulle vi gerne have fremstillet et batteri, der kan bruges til at oplagre strømmen fra vores solcelleanlæg her på campus, siger Jens Laurids Sørensen og fortsætter: Målet er at det skal være super billigt at producere, så det kan konkurrere med de traditionelle metal eller -oliebaserede batterier. Hvis vi kan udskifte dem med biologiske batterier, der er nemme, miljøvenlige og billige at producere, er potentialet enormt. Så skal de bare ud i verden.

Sanne Holm Nielsen, Aalborg Universitet

FAKTA

Almindelige batterier fremstilles normalt af metaller som fx Vanadium. Som noget nyt, er man begyndt at fremstille genopladelige batterier af typen *redox-flow* af elektroaktive organiske reststoffer fra olieproduktion. Stofferne kaldes for petroquinoner. Quinoner kan ophobe og aflade strøm et vist antal gange, inden de er brugt op og skal kasseres. Pigmenterne fra visse typer skimmelsvamp har egenskaber, der minder meget om quinoner.

Projektet er støttet af bl.a. Danmarks Frie Forskningsfond.

Bedre computere og telefoner

Forskere på Nano-Science Center og Kemisk Institut på Københavns Universitet har testet og fundet det mest strømisolerende molekyle hidtil. Opdagelsen kan få stor betydning for, hvordan man kan fabrikere elektroniske komponenter fremover. Ikke mindst, hvad angår størrelsen af komponenterne. Opdagelsen kan i sidste ende betyde, at vi kan bygge kraftigere computere og bedre telefoner fremover. Det gælder også kvaliteten og effekten for mange andre elektroniske apparater.

Foto: Colourbox

Molekyler er naturens mikroskopiske byggesten med størrelse på omkring en nanometer. Det svarer til en milliardtedel af en meter. Og når materialer kommer ned på omkring denne størrelse, bliver de strømledende. Og det skal de helst ikke blive i denne sammenhæng. Derfor er det en væsentlig udfordring at udvikle nye isolerende materialer, så strømmen ikke breder sig frit, men i stedet ledes de rigtige steder hen. Og det er her at størrelsen kommer ind.

"Vores resultat demonstrerer, at grænsen for størrelsen af isolerende materialer kan brydes. Det store perspektiv er, at vi har fundet et udgangspunkt for, hvordan strømisolerende komponenter muligvis kan laves endnu mindre end i dag," siger lektor Gemma C. Solomon fra KU.

Forskerne har ved hjælp af den såkaldte "kvantemekaniske interferens-effekt" haft held med at "undertrykke" strømledningsevnen i materialer omkring en nano-meter. Forskningen er et resultat af et samarbejde siden 2014 mellem KU og forskere ved Colombia University i New York og Shanghai Normal University i Kina. Forskningsprojektet har netop været præsenteret i det internationalt anerkendte videnskabelige tidsskrift Nature.

Svend Thaning, Københavns Universitet

Overraskende tegn på liv i ædelsten

Hvis mikrober på Jorden er i stand til at bore sig gennem så hårde sten – hvad kan vi så finde i rummet? SDU-geobiolog Magnus Ivarsson samt kolleger fra Thailand og Sverige har opdaget nogle mikroskopiske og meget karakteristiske gange i stykker af ædelstenen granat. Forskerne er overraskede over fundet, for granater er særdeles hårde sten, som det kræver umådelig stor kraft at bore huller i.

Granat med gange, som går ned i stenen fra overfladen. Foto: Magnus Ivarsson.

Ivarsson og hans forskerkolleger mener, at gangene er skabt af mikroorganismer. Det er ikke usædvanligt at se spor efter mikroorganismer, der borer gange i hårde materialer, sågar stenarter, men granater er det hidtil hårdeste materiale, en sådan aktivitet er set i.

Under mikroskopet har forskerne observeret komplekse systemer med forgreninger og forbindelser mellem gangene. I diameter varierer gangene fra få til hundreder mikrometer, og i længden er nogle af dem flere millimeter lange.

»Granater er virkelig hårde, og det virker umiddelbart utroligt, at gangene skulle være skabt af mikroorganismer«, siger Magnus Ivarsson.

Hidtil har man da også forestillet sig, at geologiske kræfter har været på spil, når en granat bliver mærket af de karakteristiske ganglignende strukturer.

»En geologisk forklaring kunne være, at splinter af andre og hårdere stenarter har arbejdet sig ind i granaten. Men kun safir og diamant er hårdere end granat, og de er altså utroligt sjældent forekommende. Og i øvrigt fandtes der ingen safirer eller diamanter i de omgivelser i Thailand, hvor vi hentede de granater, vi har undersøgt i dette studie«, siger han videre.

Analyserne af gangene og tunnellerne afslørede endvidere spor af fedtsyrer og andre lipider – mulige tegn på liv.

Måske er der noget i granater, som er så værdifuldt, at en mikroorganisme vil bruge energi på at bore sig vej ind til det. Et bud kunne være jern; et næringsstof, som kun findes i meget små koncentrationer i det miljø, hvor de undersøgte granater stammer fra.

Det nye fund støtter teorierne om, at lignende livstegn måske kan findes på andre planeter i rummet.

I 2020 sendes der ikke mindre end tre missioner fra NASA, ESA og Kina til Mars for at lede efter spor af liv.

"Dette studie er en reminder om, at vi måske skal lede efter liv i rummet på flere måder end vi gør i dag. Livet er opfindsomt", siger Magnus Ivarsson.

Birgitte Svennevig, SDU.
Kilde: PLOS ONE. http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0200351

Hvedegenomet

Det tog forskere lige over 11 år at kortlægge menneskets genom – altså sekvensen af det DNA, som udgør vores arvemasse og koder for de mere end 20.000 humane gener. Det kan virke utroligt, men det har taget forskere længere tid at gøre det samme for brødhvedens genom. Men måske det giver mening, når man hører, at hvedens genom rent faktisk er 5 gange større end det humane, og det er samtidig en sammensætning af 3 sæt genomer, som først og fremmest skal skelnes fra hinanden. I et studie udarbejdet af forskere fra hele 73 forskningsinstitutter over hele verden er det dog lykkes at kortlægge brødhvedegenomet med enorm nøjagtighed.

Hvede er en vigtig afgrøde. Foto: Colourbox.

Men hvad er der lige specielt ved netop hvedes genom, der gør det så interessant? Først og fremmest er den mest dyrkede afgrøde i verden, og derfor en vigtig brik i den globale fødevareproduktion. Det nye publicerede genom giver forskere et unikt indblik i afgrøden og sætter fokus på forskning i gener, som potentielt kan bane vejen for nye og forbedrede hvedesorter. Ved at kende genetikken bag, kan forskere eksempelvis modificere de gener, som er skyld i hvedeallergi, og dermed udvikle en sort, som er mere "allergivenlig". Mere interessant er det måske imidlertid at kunne producere mere robuste hvedesorter, der har højere nærringsindhold, og som derfor kan forbedre hvedens potentiale som ressource i fremtiden.

Ved at koble det med udviklingen af hvedesorter, som kan overleve i fremtidens klimaforandringer er man et skridt tættere på at kunne imødekomme den stigende, globale efterspørgsel, der er udsigt til. Genetik er dog ikke alt, så selvom man har genomet i dag, så er det ikke lig med forbedret hvedesorter i morgen. Dyrkning, forsøg og tests er selvfølgelig også vigtige dele af det praktiske udviklingsarbejde.

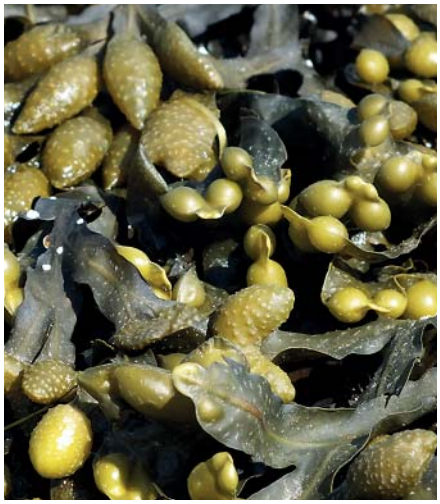
Sara Helm Knudsen. Kilder: DOI: 10.1126/science.aar7191 og www.eurekalert.org/pub_releases/2018-08/jic-pgw081318.php

Forskere skal undersøge om tang kan stoppe aldring

Fucoidan er et molekyle, som blandt andet findes i de mest udbredte tangplanter omkring de danske kyster. Stoffet er blevet hot blandt forskere over hele verden efter, at forskningsresultater tyder på, at fucoidan har en positiv effekt på udviklingen af nogle typer kræft og aldersrelateret maculadegeneration (AMD), som er den mest hyppige årsag til blindhed hos ældre.

Nu skal forskere fra blandt andet Syddansk Universitet undersøge fucoidans evne til også at stoppe andre aldringstegn. For eksempel skal de undersøge, om fucoidan er et effektivt våben mod rynker, men forskere fra Odense Universitetshospital skal også undersøge, om fucoidan kan få knogler til at hele hurtigere.

Projektet, *FucoSan - Sundhed fra havet*, er et samarbejde mellem forskere og virksomheder fra Danmark og Tyskland, og projektet har modtaget 17 millioner kroner fra Den Europæiske Fond for Regionaludvikling, som støtter samarbejde på tværs af EU's landegrænser.



Fucoidan findes bl.a. i tang. Foto: Colourbox.

Forskere kom oprindeligt på sporet af fucoidan ved at undersøge kosten hos en befolkningsgruppe i Japan. Den japanske øgruppe Okinawa er kendt for at have den højeste koncentration af mennesker, som runder 100 år. Samtidig er kosten rig på fucoidan fra wakame-tang. I de senere år er der flere forskningsresultater, som viser, at stoffet, ud over anti-aging-effekter, også har en positiv effekt på flere typer af kræft. Fucoidan fremstilles i dag industrielt i Japan og anvendes som tilsætningsstof til fødevarer, juicer og kosmetik.

Men man behøver ikke at rejse til Japan for at få fat på fucoidan. Professor Xavier Fretté fra SDU Chemical Engineering, som har en ph.d. i marinkemi og marinfarmakognosi, skal nu ud og høste brunalger fra forskellige steder i Østersøen. Han skal finde ud af, hvor de alger med den højeste koncentration af fucoidan gror, og hvornår det er bedst at høste algerne.

Birgitte Dalgaard, SDU.

Læs mere om FucoSan – Sundhed fra havet: www.fucosan.eu/da/nyheder/

Astrofysikere løser 100 år gammel gåde

På Sydpolen er der tusindvis af sensorer gravet ned under isen. Helt ned til 2500 meter. Det lyder som et paradoks, fordi forskningsstationen IceCube, som projektet hedder, skal give os svar på universets sammenhæng og opståen. Og forleden fik forskerne svar på en over 100 år gammel gåde. Det drejer sig om de såkaldte elementarpartikler neutrinoer – populært kaldet spøgelsespartikler, fordi de næsten er uden masse og alligevel den anden mest forekommende partikel i Universet – dog uden at efterlade sig synlige spor. Nu har forskere fra bl.a. Niels Bohr Instituttet på Københavns Universitet, tilknyttet projektet i Antarktisk, fundet frem til, at der er en sammenhæng mellem de gådefulde neutrinoer og de aktive galakser, blazarer.

En del af Amundsen-Scott South Pole Station, hvor medlemmer af IceCube-forskningsholdet bor året rundt. Foto: Morten Medici

Opdagelsen er så stor, at den har været på forsiden af det internationale tidsskrift *Science*.

”Vi har længe undret os over, hvor disse elementarpartikler, neutrinoer, opstår. Nu har vi et stærkt bevis på, at blazarer (aktive galakser) er en kilde til neutrinoer. Opdagelsen er en meget vigtig brik i vores forståelse af universet og de mest energirige og kraftige objekter i det,” siger D. JASON Koskinen fra Niels Bohr Institutet og en af de IceCube-forskere, der har gjort det store fund.

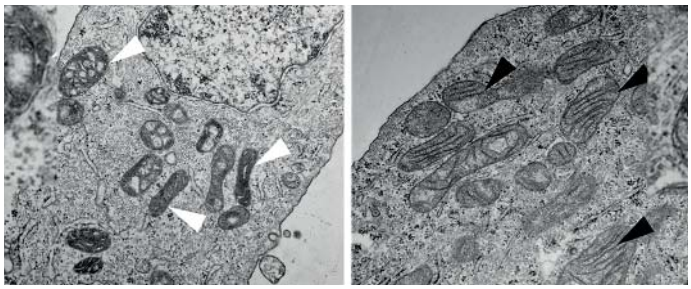
Forskere over hele verden er dybt interesserede i neutrinoernes adfærd i rummet, fordi de er ekstremt svære “at indfange”, fordi neutrinoerne næsten er uden masse og fylde og kun interagerer svagt med andre elementer i rummet.

Neutrinoerne regnes for at være enestående kosmiske budbringere, fordi de kan rejse gennem hele universet – uden at afbøjes af magnetfelter og uden at blive stoppet af andre elementer og stof. Blazarer, som nu er blevet hægtet sammen med neutrinoerne, er aktive galakser, hvis kerner består af store sorte huller, som udskiller stof med en fart tæt på lysets hastighed (ca. 300.000 km i sekundet) i retning mod Jorden.

Svend Thaning, Københavns Universitet

Naturstof får kræftceller til at begå selvmord

Forskere på Aarhus Universitet har opdaget, at et særligt naturstof slår aggressive kræftceller ihjel på en ny og effektiv måde: Stoffet beskadiger kræftcellernes kraftværker, mitokondrierne, og sætter gang i en selvmordsproces, som virker til at adskille sig kendte former for programmeret celledød – og som afhænger af kræftcellernes iltniveau.



Elektronmikroskopier af to kræftceller, der har været uden ilt i fire timer. Cellen til venstre er behandlet med BE-43547, mens den til højre er behandlet med en inaktiv variant af stoffet. Forskellen er tydelig: mitokondriets foldede indermembran er intakt hos cellen til højre, mens den er ødelagt hos den selvmordsramte celle til venstre. Foto: Thomas B. Poulsen

Naturstoffet er cellegiften BE-43547, som normalt kun produceres af bakterier i jorden og havbunden, hvor ilten er sparsom. Derfor er cellegiften udviklet til kun at angribe celler, der stort set ikke behøver ilt (såkaldt hypoxiske celler).

Dermed har BE-43547 potentiale til en gang i fremtiden at blive et effektivt våben mod de hypoxiske kræftceller, som findes inde i voksende kræftsvulster, og som medvirker til metastase. Hypoxiske kræftceller er modstandsdygtige over for strålebehandling og flere typer af kemoterapi.

I 2016 syntetiserede forskere på Aarhus Universitet en nøjagtig kopi af stoffet, og siden har laboratorieforsøg demonstreret, at BE-43547 hurtigt og effektivt slår hypoxiske celler ihjel, men lader celler med normal iltforsyning i fred. Stoffet er meget giftigt i store doser, men virker uskadeligt i små doser – altså lige indtil man berøver cellerne for ilt og dermed gør dem hypoxiske. Så slår giften dem ihjel i løbet af få timer.

”Det næste trin i udviklingen af denne stofklasse var at forstå, hvordan det får kræftcellerne til at dø. Det skal jo helst virke på en anden måde end de eksisterende midler, for ellers er der ingen grund til at fortsætte med det. Nu har vi så fundet ud af, at BE-43547 får dem til at begå selvmord på en måde, som vi ikke har set før,” fortæller lektor Thomas Bjørnskov Poulsen, hvis laboratorium på Institut for Kemi på Aarhus Universitet har specialiseret sig i at finde og kopiere naturstoffer, der virker mod kræft.

Der er dog lang vej endnu, til naturstoffet finder vej til kliniske forsøg, endsige behandling af kræftpatienter. Da der er tale om et naturstof, er der endnu ikke noget at patentere, og dermed er det svært at gøre medicinalindustrien interesseret i at finansiere udviklingen.

Desuden mangler forskerne endnu at finde ud af, hvorfor giften slår mitokondrierne i stykker. BE-43547-molekylerne er store og komplekse, hvilket øger risikoen for utilsigtede virkninger.

Peter F. Gammelby, Aarhus Universitet.
Faglig artikel: DOI:https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2018.07.010

DE USYNLIGE VANDFALD

At man kan udvinde energi ved at blande saltvand og ferskvand, lyder næsten for godt til at være sandt. Men der arbejdes nu på at gøre teknologi, der kan udnytte denne "saltkraft" kommercielt rentabel.

Enhver, der har været i nærheden af et stort vandfald, slikket sol under de varmere himmelstrøg eller kæmpet sig hjem på cykel i modvind, vil intuitivt forstå, at her slippes energi løs. At udnytte disse kilder til energiproduktion er derfor også noget, de fleste forstår kan lade sig gøre. Men, at noget så simpelt som blandingen af saltvand og ferskvand, for eksempel når en flod løber ud i havet, også kan være kilde til produktion af CO_2-fri energi er til gengæld ikke helt så åbenlyst. Ikke desto mindre er dette tilfældet og alene processen, hvor ferskvand blandes med havvand, frigiver samme mængde energi som et 270 meter højt vandfald. Hidtil har det ikke været muligt at udnytte denne energikilde, men de seneste år har det danske firma SaltPower i samarbejde med Aalborg Universitet, Danfoss A/S, Sønderborg Fjernvarme, HOFOR og Semco Maritime arbejdet på gøre disse usynlige vandfald tilgængelige.

Mobilt pilotanlæg til geotermiske kilder med membran, pumpe og turbine. Anlæget er p.t. opstillet og er i drift ved Sønderborg. Det hele er placeret i en almindelig container.

Energiproduktion ved saltkraft

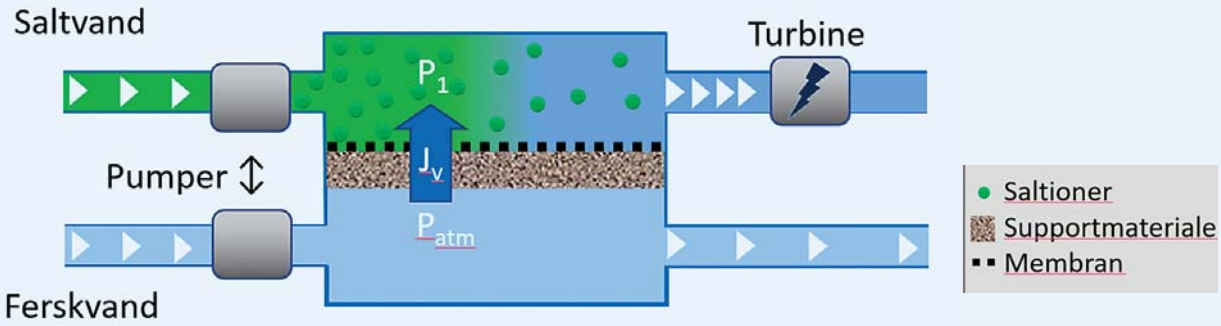
Den energi, der frigives ved blandingen af fersk- og saltvand kaldes saltkraft, og en af de metoder man kan bruge til at udvinde saltkraft er processen bremset osmose. Her placerer man de to vandstrømme på hver sin side af en membran, som vand, men ikke salt, kan gennemtrænge. På grund af osmoseprocessen vil vandmolekyler vandre gennem membranen fra siden med ferskvand til siden med saltvand. Volumenet vil altså forøges på saltvandssiden, og denne volumenforøgelse kan bruges til at drive en turbine rundt. Hvis man påfører turbinen en modstand og herved bremser den, vil der kunne genereres strøm fra osmoseprocessen – deraf navnet "bremset osmose" (på engelsk "Pressure Retarded Osmosis", PRO).

Forfatterne

Thomas Bruun Hansen er post doc. Sektion for Bæredygtig bioteknologi, Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet. tbh@bio.aau.dk

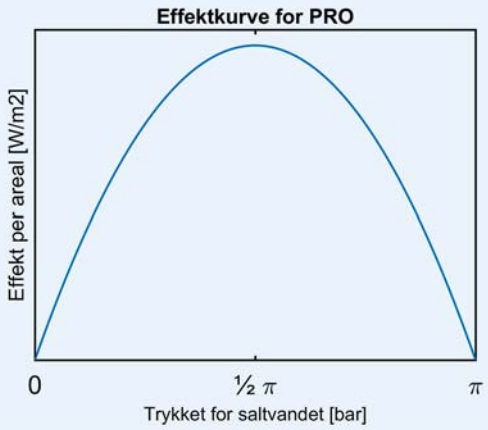
Henrik Tækker Madsen, administrerende direktør. SaltPower. htm@saltpower.net

Princippet i et saltkraft-system



Figuren viser princippet i et saltkraft-system baseret på "bremset osmose" (Pressure Retarded Osmosis). Saltvand og ferskvand pumpes ind på hver sin side af en semipermeabel membran. For saltvandet øges trykket enten via pumpen eller en trykudveksler placeret før membrancellen. På grund af forskellen i osmotisk tryk, vil vand blive suget igennem membranen. Dels vil dette fortynde saltvandet som er vist med farveskiftet på tegningen og dels vil flowet af tryksat saltvand øges. Det større volumen af tryksat vand ledes herefter til en turbine hvor energien kan udvindes.

Kurve for optimal energiproduktion som funktion af det påførte tryk på saltvandet hvor π er det osmotiske tryk. Undlader man at påføre saltvandet tryk, opstår almindelig osmose, men da det øgede volumen af væske ikke vil være under tryk, kan den ikke bruges til at producere energi. I takt med, at trykket på saltvandet øges, vil den osmotiske volumenforøgelse bremses. Når det påførte tryk overstiger saltvandets osmotiske tryk, bremses osmoseprocessen så meget, at det negativt påvirker energiproduktionen målt som antal watt per kvadratmeter membran.



Når turbinen bremses, opbygges der et tryk på saltvandet, og dette vil modarbejde det osmotiske tryk og reducere transporten af vand gennem membranen. Hvis trykket når samme størrelse som saltvandets osmotiske tryk, stopper vandtransporten helt. Dette er vigtigt, da den energi, der kan udvindes, svarer til produktet af vandflowet igennem membranen og det påførte tryk på saltvandet. Hvilket tryk, der skal påføres, er altså et optimeringsspørgsmål og matematisk kan det vises, at energiproduktionen er mest effektiv, når saltvandet påføres et tryk svarende til halvdelen af saltvandets osmotiske tryk.

For at gøre strømproduktionen kontinuert bruger man en højtrykspumpe til at pumpe saltvandet hen til membranen, hvor volumenet udvides inden vandet sendes til en turbine, hvor strøm genereres.

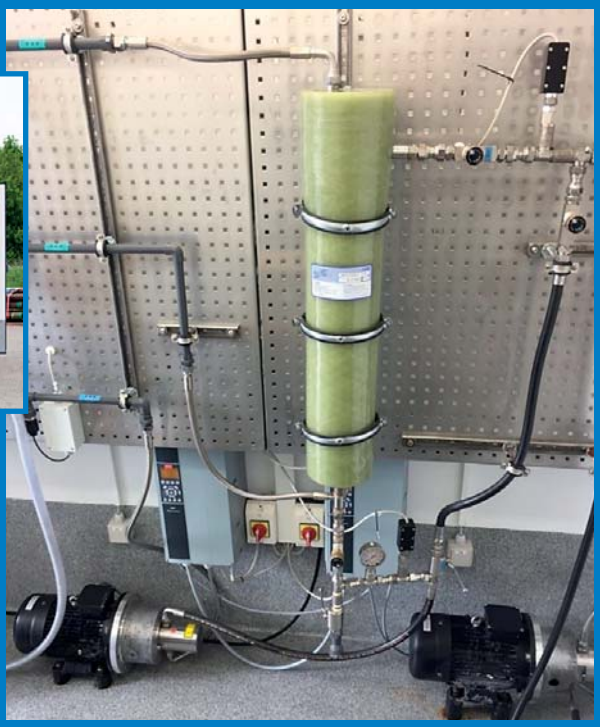
Da det eneste, der skal til for at producere energi med saltkraftprocessen, er at sende vand til membranen, er dette en teknologi, der kan levere CO_2-fri energi hele tiden, uafhængigt af om solen skinner eller vinden blæser.

Høj saltkoncentration er nøglen

Det norske energiselskab Statkraft forsøgte tilbage i 2009 at få et saltkraft-system op at køre baseret på PRO-teknologien, hvor havvand og ferskvand skulle drive energiproduktionen. Det lykkedes dog ikke at gøre systemet rentabelt, og i 2013 blev projektet lagt på hylden.

Forskerne måtte derfor tilbage til skrivebordet. Statkraft estimerede dengang, at man skulle kunne opnå en energidensitet på 5 watt per kvadratmeter membran, for at systemet ville være rentabelt, men man havde kun været i stand til at opnå 1 W/m^2. Der var behov for bedre membraner, men at få udviklet sådanne havde lange udsigter.

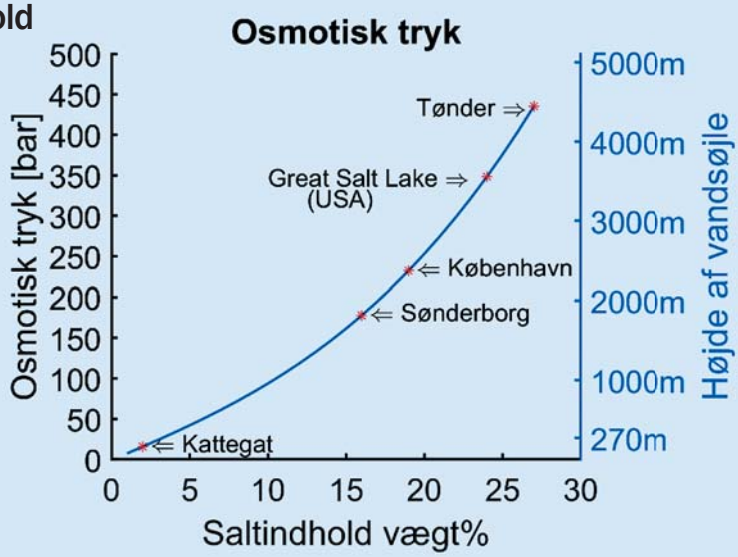
Der er dog også en anden måde, hvormed man kan øge energiproduktionen, og det er at bruge vand med et højere indhold af salt end havvand, som i Danmark ikke kommer over 3,3 %. En sådan

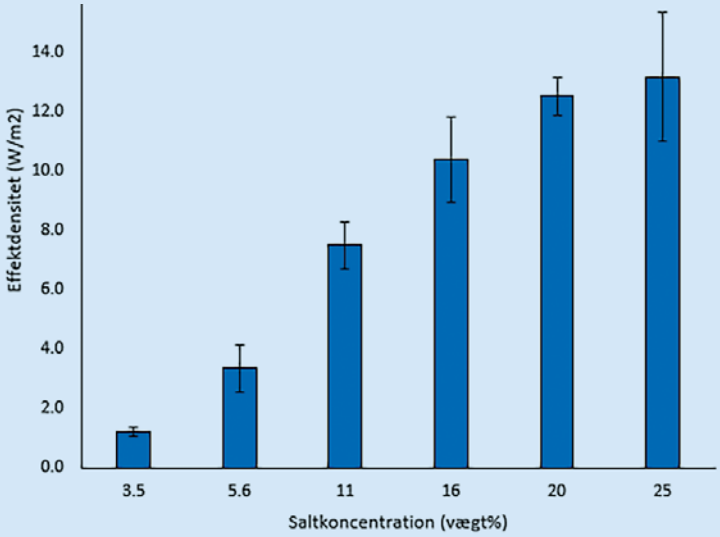


Her ses den grønne membran monteret på containervæggen og i denne 1 m høje rulle er der hele 60 m² membranoverflade. Under membranen ses pumpen og turbinen fastgjort på gulvet, som dels tryksætter væskestrømmen og efterfølgende omdanner energien til elektricitet igen.

Osmotisk tryk og saltindhold

Sammenhængen mellem osmotisk tryk og saltindhold ved 25 °C. Sønderborg, København og Tønder er geotermivand fra forskellige steder i Danmark og sammenlignes med havvand (Kattegat) og saltvandssøer (Great Salt Lakes). Den højre akse viser, hvor høj en vandsøjle, der skal til for at danne samme tryk. Man kan forestille sig det som et vandfald eller en dæmning med samme højde. Geotermivandet fra Tønder svarer derfor til et en dæmning med en højde på næsten 4,5 km. Til sammenligning er Hoover Dam i USA 221 m.





Laboratorieundersøgelser af brugen af brines i et osmotisk energisystem. Energidensiteten øges i takt med at vandets saltindhold øges.

Lang vej fra ide til praksis

Ideen med at udvinde energi ved blanding af saltvand og ferskvand er første gang nævnt i en artikel i tidsskriftet *Nature* i 1954 af R.E. Pattle. Frem til midten af 1970'erne blev der forsket meget lidt i emnet, men herefter skabte oliekrisen igen interesse for mere forskning i denne energikilde. Efter nogle år med stor forskningsaktivitet ebbede interessen dog ud. Men fra 1997 har vi set en støt stigende interesse fra både universitetsforskere og private virksomheders side. I 2009 tog det norske energiselskab Statkraft de første skridt på vejen til at få et system op at køre, hvor havvand og ferskvand skulle drive energiproduktionen. Fire år senere blev projektet dog lagt på hylden, da Statkraft konstaterede, at der var lange udsigter til, at teknologien blev moden nok til at være rentabel.

Interessen for teknologien blev dog ikke dermed lagt på hylden og meget forskning har været fokuseret på at udvikle bedre membraner, som skulle bruges til at gøre havvand til en brugbar saltvandskilde, inden man tog hul på kilder med højere saltindhold. Men på Aalborg Universitet og SaltPower vendte vi denne tankegang på hovedet. Vi havde identificeret geotermivand som en udbredt kilde af vand med højt saltindhold og ville forsøge at bruge sådanne kilder til at skabe en rentabel platform for teknologien. I 2015 afprøvede vi konceptet i laboratoriet, og i 2016 stod et pilotanlæg klar, som blev brugt til at undersøge teknologien i stor skala. Resultaterne herfra her været meget lovende, og håbet er, at dette kan lede til en kommerciel platform for anlæg baseret på bremset osmose, som kan give grobund for en videreudvikling af teknologien, så vi en dag kan udnytte selv havvand.

koncentreret saltopløsning kaldes på fagsprog en brine. En brine kan opbygge væsentligt højere osmotiske tryk end almindeligt havvand, hvilket kan øge den energidensitet, der kan opnås med eksisterende membraner.

For at undersøge dette nærmere har vi i laboratoriet testet de samme membraner, som blev anvendt af Statkraft og udsat dem for vand med forskellige saltkoncentrationer. Og vi har fundet, at det er muligt at komme over de 5 W/m^2 – helt op til cirka 14 W/m^2, hvis saltkoncentrationen er så høj som 25 vægtprocent. Hvis processen skal være effektiv, skal de osmotiske membraner kunne klare høje tryk. Tidligere forsøg har indikeret, at membranerne kun kan klare cirka 20 bar, men vi viste, at de var i stand til at klare minimum 70 bar. Samtidig fandt vi, at den seneste generation af osmotiske membraner allerede er tre gange så effektiv som membranerne fra Statkraft-projektet.

Koncentreret saltvand fra undergrunden

Spørgsmålet er så, hvor man kan finde vand med høje saltkoncentrationer i tilstrækkelige mængder. For at osmotisk energi skal blive interessant, kræver det i sagens natur en saltvandskilde med stor udbredelse. En mulig løsning er geotermivand. Det er vand, som hentes flere kilometer nede i undergrunden, og som man allerede i dag udnytter til at producere CO_2-fri fjernvarme (geotermisk energi). Det viser sig, at saltkoncentrationen i geotermivand mange steder er meget høj – nogle steder mættet saltvand.

I dag pumpes geotermivand op fra undergrunden, man udvinder varme, og pumper det retur til undergrunden. Med et saltkraft-anlæg kan der i tillæg til varmen også produceres elektricitet fra vandet, inden det sendes retur til undergrunden. Det giver en kombineret varme- og el-produktion, der både er stabil og fri for CO_2-udledning. Sammen med projektpartnerne har SaltPower testet teknologien i et mobilt pilotskala-anlæg. I dette anlæg er membranarealet cirka 10.000 gange så stort som i den opstilling, vi brugte til at teste saltopløsninger i laboratoriet.

Fremtiden for osmotisk energi

Ud over saltsøer og geotermivand findes der vand med høj saltkoncentration flere steder i verden, for eksempel vand fra salthorste og afsaltningsanlæg. Der er således masser af muligheder for at udbrede teknologien og lade osmotisk energi bidrage til overgangen til en CO_2-fri energiforsyning.

Men potentialet ender ikke her. Ved at lede store mængder havvand ind på saltsletter, for eksempel i Nordafrika eller Australien, vil solen langsomt fordampe vandet og skabe en koncentreret saltopløsning. Denne kan bruges til at producere elektricitet, mens afdampningen af vand vil bringe fugt til tørre ørkenområder. Endelig vil den store vandmængde fungere som en varmebuffer, der sænker den lokale temperatur. En vild vision, men absolut ikke uopnåelig.

Når teknologien først er udbredt til koncentrerede saltopløsninger, vil den uundgåelige forbedring af teknologien gøre det muligt at anvende vand med stadig lavere saltkoncentration, indtil det bliver muligt at anvende selv havvand. Når det sker, vil enhver flod, der løber ud i havet, være et CO_2-frit kraftværk, og så vil de usynlige vandfald for alvor bidrage til en ren energiforsyning. ■

Arbejdet med et saltkraft-system baseret på "bremset osmose" er sket med støtte fra Det *Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram* (EUDP) under Energistyrelsen.

VIDEN RYKKER VERDEN. RYK MED.

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

Gør dit uddannelsesvalg lettere ved at:

» Gå i studiepraktik 24.– 26. oktober
» Blive studerende for en dag
» Besøge os med din klasse
» Få hjælp til dit studieretningsprojekt
» Se film om uddannelserne

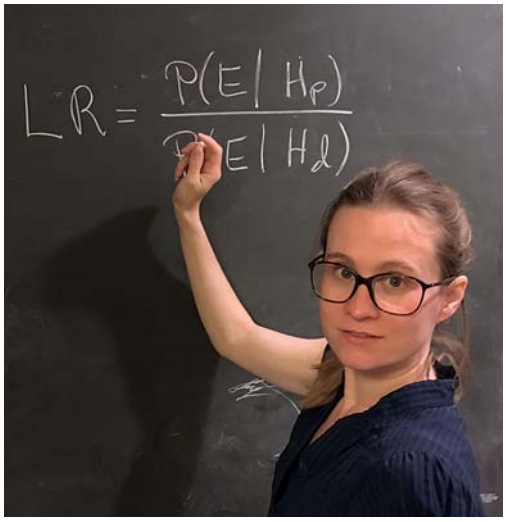
SCIENCE Kommunikation

science.ku.dk/ba

KØBENHAVNS UNIVERSITET

DANSK DNA-DETEKTIV HJÆLPER ENGELSK POLITI I DRABSSAGER

I en række drabssager har den danske forsker i statistik Therese Graversen fra Københavns Universitet hjulpet engelsk politi med at sandsynliggøre en gerningsmand. Hun bruger en unik metode, som allerede har skrevet engelsk retshistorie og kan sætte nye standarder for retsvæsnet i fremtiden.



I 2017 henvendte South Yorkshire Police sig til den danske forsker i statistik Therese Graversen fra Institut for Matematiske fag, Københavns Universitet med et problem. En mand var blevet banket ihjel i sit hjem i et meget voldeligt overfald. De engelske politifolk havde allerede anklaget en person, og de havde fundet et DNA-spor på vedkommende efter anholdelsen. Men fordi politiet skønnede, at DNA-sporet indeholdt DNA fra både offeret og mindst tre andre personer, bad politiet den danske forsker om hjælp til at lave en beregning, som kunne hjælpe med at kaste klarhed over det blandede spor.

»Der var fundet noget sammenblandet DNA på den anklagedes joggingbukser. Man havde en formodning om, at noget af det tilhørte den afdøde. Derfra skulle jeg så beregne vægten af, om det nu var den afdødes DNA på den anklagedes joggingbukser,« forklarer Therese Graversen.

Engelsk laboratorium måtte opgive

Når Therese Graversen får en opgave fra det engelske politi, er der altid fundet DNA fra fire eller flere personer på for eksempel ofret eller en genstand fra gerningsstedet. For når mange personers DNA er blandet sammen, eksploderer antallet af kombinationsmuligheder i et puslespil bygget på opskriften på den menneskelige organisme. Selv for store private laboratorier, som det engelske retssystem normalt udliciterer opgaven til, volder udregningerne problemer. Det var hovedårsagen til, at den danske forsker i 2016 fik sin første sag.

»De sad med en DNA-blanding, hvor de kunne se, at der måtte være mindst fem personer. Men problemet var, at det computerprogram, de havde, ikke kunne regne på fem mennesker, det var for komplekst – der bliver simpelthen for mange muligheder rent statistisk,« forklarer Therese Graversen, som efter den første sag i 2016 blev kontaktet af flere engelske politikredse, som havde hørt om hendes metode.

Sagen endte med at blive den første sag i England nogensinde, hvor den type beregninger var blevet brugt og accepteret i retten, og en af pionererne inden for DNA-analyse i England og Europa, Peter Gill, bad efterfølgende om at få Therese Graversens rapport, så han fremover kunne bruge den som eksempel i engelske fora, hvor DNA-analyse diskuteres.

Ny og bedre metode

Hemmeligheden bag hendes beregningsmetode er slet ikke så hemmelig. Faktisk ligger den frit tilgængelig på nettet. Ved hjælp af et stykke software, som hun selv har kodet, analyserer hun den DNA, som politiet har sikret fra gerningsstedet. DNA-sekvenserne ligner små bjergtoppe i forskellige højder og indeholder oplysninger, som hendes software bruger til at lave udregningen.

»Før jeg udviklede min metode, var det her et område, hvor jeg nemt

Forfatter
Michael Skov Jensen er kommunikationsmedarbejder ved Det Bio- og Naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
msj@science.ku.dk

Kontakt til forskeren Therese Graversen:
graversen@math.ku.dk

Billedet: Therese Graversen ved tavlen. Foto: Rasmus Lerchedahl Petersen.

Tekniske udfordringer ved analyse af DNA-spor

I DNA-profilering baseret på såkaldte STR-markører (STR står for Short Tandem Repeat) udnytter man, at nogle områder i vores DNA har en særlig opbygning, hvor sekvenser på typisk 4 basepar gentages et antal gange. Antallet af gentagelser i disse områder varierer fra person til person og er arvelige egenskaber. En markør angiver et område i hvert af personens to kromosomer i et af de 22 autosomale kromosompar, og målingen for markøren består i at registrere antallet af gentagelser i de to områder. De to områder for markøren kan have samme eller forskellige antal gentagelser. Selve DNA-profilen kommer således til at bestå af en eller to komponenter (alleller) for hver af de 16 markører, man normalt undersøger. Man inkluderer desuden typisk en 17. markør, som angiver personens køn.

Ved simple DNA-spor – dvs. DNA-spor af god kvalitet, som stammer fra en enkelt person – kan man aflæse personens DNA-profil direkte fra det såkaldte elektroferogram (EPG). Det er en graf bestående af små toppe, der indikerer hvilke DNA-komponenter personen har i sin profil; der vil være en eller to toppe for hver af de 17 markører, der udgør DNA-profilen.

Hvis DNA-sporet er en blanding af DNA fra flere personer, så er der naturligvis også flere forskellige DNA-komponenter i blandingen. Derfor vil man se hel flok toppe på EPG'et, og man kan ikke længere direkte aflæse den enkelte persons DNA-profil ud fra, hvilke komponenter der er i sporet. Hvis to personer eksempelvis har den samme (→)

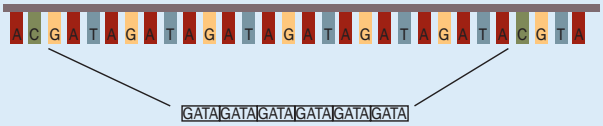
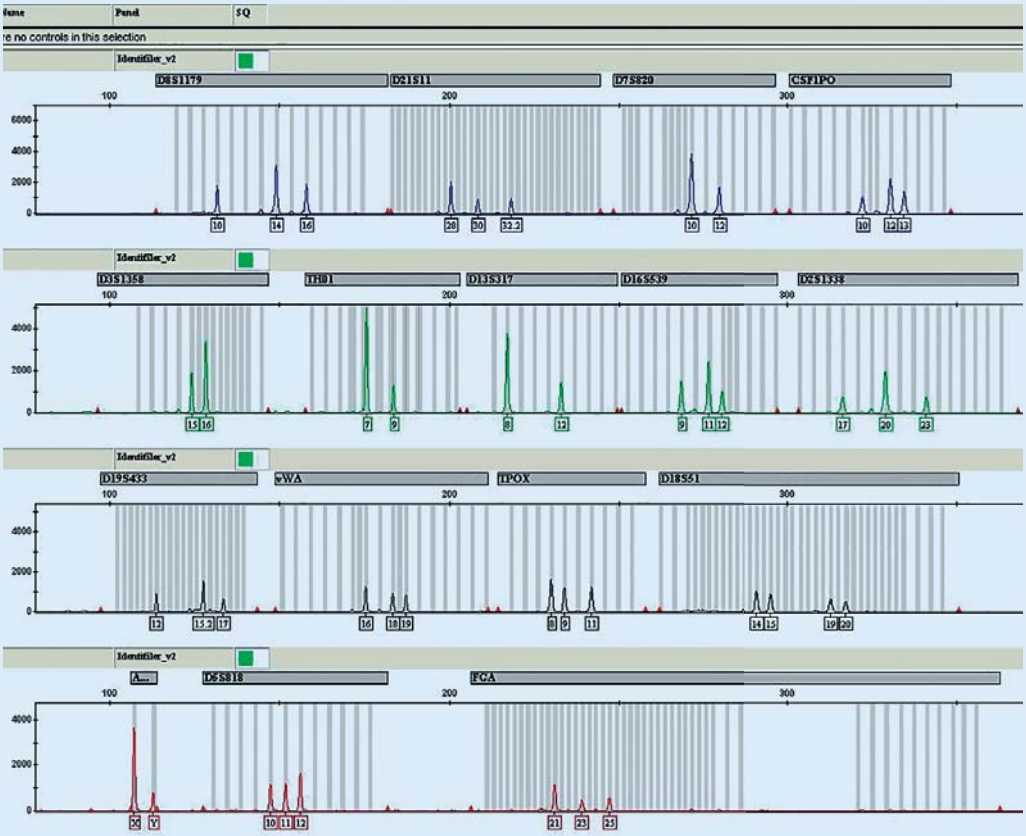
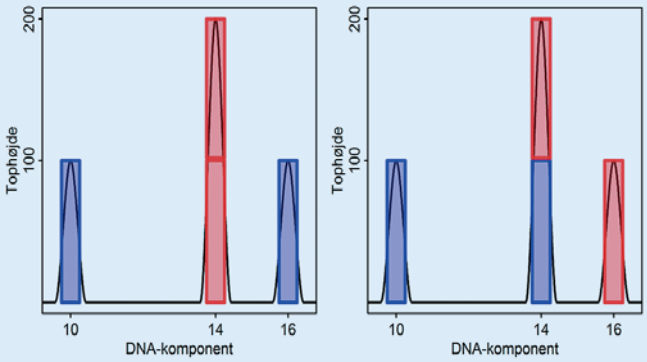


Illustration af et område af vores DNA med såkaldte Short Tandem Repeats – i dette tilfælde gentages sekvensen GATA seks gange.



↑ Elektroferogram for et blandet DNA-spor. Kigger man på det øverste panel, er det inddelt i fire markører: D8S1779, D21S11, D7S820 og CSF1PO. De lodrette grå striber svarer omtrent til de mulige DNA-komponenter, en person kunne have for den markør. Der er registreret tre komponenter 10, 14, og 16 for markøren D8S1179, hvilket er tegn på at sporet indeholder mere end én persons DNA.



← To forskellige måder at fordele DNA-komponenterne for en markør på, hvis man antager, at det er en blanding af lige meget DNA fra hver af to personer.

kunne sidde og vente i dagevis, mens computeren regnede på for eksempel fire personers DNA,« fortæller Therese Graversen, der brugte ventetiden, hvor computeren gennemløb de astronomisk mange kombinationsmuligheder, som blandet DNA har, på at optimere koden og det stykke software, hun bruger.

»Jeg begyndte at ændre hele udregningen mere fundamentalt og endte med en metode, der løber alle DNA-kombinationerne igennem på en smartere og mere selektiv måde,« siger Therese Graversen, der med sin bærbare computer kan udregne mere komplekse sager på kortere tid, end de private laboratorier i England har mulighed for.

Kan skubbe til retspraksis

Forskerens metode er nyskabende, fordi den inddrager flere informa-

Arbejdsgang

1)

Et DNA-spor indsamles fra gerningsstedet. Sporet indeholder muligvis DNA fra flere personer. Foto: Shutterstock.

2)

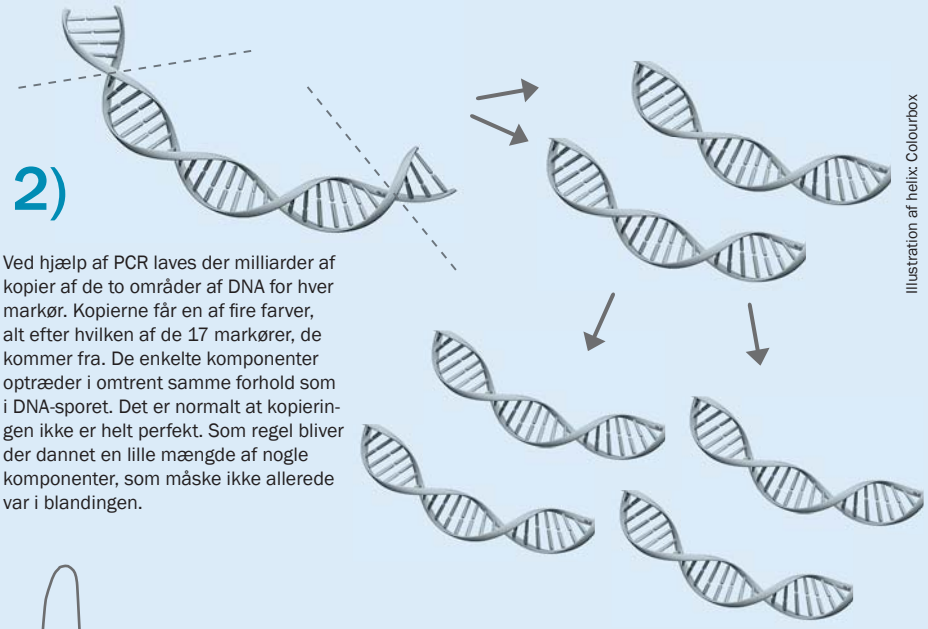
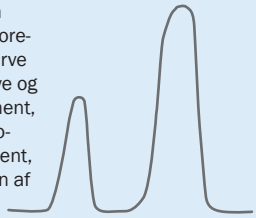


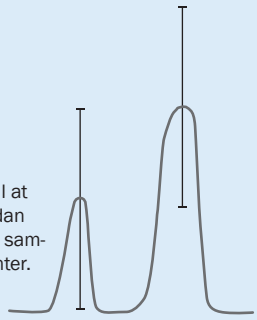
Illustration af helix: Colourbox

Ved hjælp af PCR laves der milliarder af kopier af de to områder af DNA for hver markør. Kopierne får en af fire farver, alt efter hvilken af de 17 markører, de kommer fra. De enkelte komponenter optræder i omtrent samme forhold som i DNA-sporet. Det er normalt at kopieringen ikke er helt perfekt. Som regel bliver der dannet en lille mængde af nogle komponenter, som måske ikke allerede var i blandingen.

3) De forskellige komponenter i blandingen registreres ved hjælp af kapillærelektroforese. Her sorteres komponenterne efter farve og længde. Ud fra kombinationen af farve og længde ved man præcis hvilken komponent, der er tale om. Der dannes et elektroferogram (EPG) med en top for hver komponent, hvor højden på toppen angiver mængden af komponenten.



4) Statistisk modellering bruges til at beskrive variabiliteten af, hvordan EPG'et vil se ud for en bestemt sammensætning af DNA-komponenter.



5) Ud fra sagens omstændigheder formuleres to scenarier, der skal holdes op mod hinanden. Disse kunne for eksempel være:

H_1: DNA'et kommer fra anklagede og fire ukendte personer, der ikke er biologisk relaterede til den anklagede.

H_2: DNA'et kommer fra fem ukendte personer, der ikke er biologisk relaterede til den anklagede.

6) Der udfærdiges en vidneerklæring, som rapporterer resultatet af analysen i form af en likelihood-ratio:

$$LR = \frac{P(EPG \mid H_1)}{P(EPG \mid H_2)}$$

LR angiver hvor mange gange mere sandsynligt det ville være at elektroforesen gav netop det EPG, hvis H_1 var rigtig, end hvis H_2 var rigtig.

DNA-komponent i deres profiler, så vil man blot se én højere fælles top for den komponent, svarende til at de to personers toppe bliver "stablet" oven på hinanden.

Nøglen til de moderne metoder består i at udnytte den information, der ligger i toppenes højder. Højden af toppene angiver, hvor meget af de forskellige DNA-komponenter, der er i sporet. Da alle toppe fra samme person cirka vil være lige høje (medmindre to er "stablet"), fortæller tophøjderne altså også noget om, hvilke DNA-komponenter der hører til hver enkelt person. Man kan forestille sig analysen af EPG'et som et puslespil, hvor man for hver person må placere to små pinde af en bestemt højde indenfor toppene for en bestemt markør. Højden på personens pinde svarer til, hvor meget af personens DNA blandingen indeholder. (→)

Af Therese Graversen
graversen@math.ku.dk

Therese har en bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond | Teknologi og Produktion

tioner fra DNA-sekvenserne, som hidtil ikke er blevet udnyttet. Blandt andet bruger hun informationer om de såkaldte tophøjder. Højderne siger noget om, hvor stærkt signalet er og dermed også noget om, hvor meget DNA'et fylder i blandingen. Therese Graversens software er også blevet anvendt i enkelte danske retssager, og hun håber på, at hendes metode vil fortsætte med at vinde indpas både i England og i Danmark i fremtiden.

»Det jeg har indset er, at små folk som mig, godt kan gå ind og skubbe lidt til retspraksis. Min metode har gjort politiet både i Danmark og i England opmærksomme på, at man godt kan trække flere informationer ud af DNA'et end de plejer, og det genererer naturligt en efterspørgsel for de her mere sofistikerede metoder til at analysere DNA-spor,« siger hun. ■

DNA-spor er centale i mange kriminalsager. Selv flere gamle sager bliver nu opklaret. Foto: Shutterstock.

Videre læsning

Principles of Forensic DNA for Officers of the Court. Webside med små letforståelige træningsmoduler med alle de fundamentale principper. https://projects.nfstc.org/otc

Oversigtsartikel om DNA-metoder til retsbrug:

Steele, C.D. and Balding, D.J.: Statistical Evaluation of Forensic DNA Profile Evidence. Annual Review of Statistics and Its Application 2014 1:1, 361-384.

Standard håndbog: Butler, J.M. (2005): Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers (2nd Edi.). Elsevier Academic Press, New York.

Therese Graversens software, DNAmixtures: http://dnamixtures.r-forge.r-project.org

Therese Graversens ph.d.-afhandling fra Oxford 2014: Statistical and Computational Methodology for the Analysis of Forensic DNA Mixtures with Artefacts. https://ora.ox.ac.uk/objects/ora:9362

Opgaven går så ud på at udfylde alle toppene i EPG'et med pindene fra alle de forskellige personer.

Utallige kombinationer

I analysen af et DNA-spor bliver man nødt til at undersøge samtlige kombinationer af DNA-profiler og se, hvor godt hver enkelt passer med toppene i EPG'et. Ser vi på DNA-komponenterne for blot en enkelt markør, er der i størrelsesordenen 200 kombinationer for en person. Hvis man forestiller sig, at blandingen kommer fra 2 personer, så er der 40.000 kombinationer at se på, fordi man for hver eneste af de 200 forskellige kombinationer, som den første person kunne have, også må se på de 200 mulige kombinationer, som den anden person kunne have. For en 5-personers blanding bliver det til 200^5, altså 320 milliarder, kombinationer at løbe igennem. I praksis ved man desuden ikke altid, hvor mange personers DNA der er i blandingen, eller hvilket blandingsforhold det indgår i, og det gør naturligvis puslespillet endnu mere komplekst.

En yderligere komplikation er, at hvis man genanalyserer det samme DNA-spor mange gange, vil man ikke få helt det samme EPG hver gang. Der er noget variabilitet i toppenes højde og derfor også i, hvilke toppe der ses på EPG'et. For eksempel bliver meget små toppe ikke altid vist på EPG'et. Man kan se det som måleusikkerhed i processen fra DNA-spor til EPG, og en statistisk model tager højde for den slags usikkerhed. ■

Bliv **STUDERENDE FOR EN DAG** på SDU

Tilmeld dig Anvendt matematik, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Datalogi, Farmaci, Fysik, Kemi eller Matematik på **sdu.dk/nat/studerendeforendag** fra 1. okt. 2018

SDU
DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET

GRØNLANDSK MUDDER KAN REDDE SULTNE

Kan man flytte næringsrigt gletsjer-mudder fra Grønland til tropernes udpinte jorde og derved producere mere og bedre mad til verdens sultne? Det skal et nyt forskningsprojekt undersøge.

Foto: Minik Thorleif Rosing.

Om forfatterne

Minik Thorleif Rosing er professor ved Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet.

Andreas De Neergaard er prodekan ved Det Samfundsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.

Hvert år udvaskes omkring en milliard tons mudder i Grønland til de omkringliggende have. Det svarer til ca. otte procent af verdens samlede udledning af mudder eller sedimenter, som det også kaldes. Og hvad Grønland angår, så er det som at hælde guld i havet til ingen verdens nytte. Det grønlandske mudder er nemlig så rigt på næringsstoffer, at det kan eksporteres til lande, hvor landbrugsjorden er fattig på næringsstoffer eller ganske enkelt – udpint.

Og det er ikke uden betydning for verdens sultne masser, som nu i antal er stigende efter flere år med et fald, ifølge FN.

I dag er der ca. 815 millioner sultne mennesker på Jorden. Antallet af sultne steg med 38 millioner alene mellem 2015 og 2016. Det skyldes ikke mindst politiske og etniske konflikter og klimaforandringer i form af tørke og oversvømmelser.

Derfor ville det være en fantastisk ting, hvis Grønland logistisk og økonomisk kunne sætte en eksport af deres næringsholdige mudder i system. Det vil selvfølgelig ikke løse alle problemer, men være en stor hjælp til lande med næringsfattige jorde – en win-win-situation for alle parter.

Næringsfattig jord i troperne

Ser vi på fordelingen af velstand på jorden, viser det sig hurtigt, at den er fordelt efter et mønster, der i påfaldende grad ligner et jordbundskort. Nogle få lande producerer næsten alle de afgrøder, vi alle sammen lever af, mens mange lande –på trods af at være næsten fuldkommen dedikerede til landbrug – alligevel ikke kan brødføde deres egne befolkninger.

Landbrugsudbyttet fra en mark på dårlige jorde er måske kun en tiendedel af, hvad det er for en mark i den rige og produktive del af verden.

Hvorfor?

Det skyldes, at de fattige og ufrugtbare jorde er stærkt overrepræsenterede i troperne og subtroperne. Trods rigeligt med sol, dejlig varme og masser af nedbør kaster arbejdet med jorden næsten intet af sig. Det skyldes paradoksalt nok, at der i disse egne er dejlig varmt og rigelig med nedbør. Det lune regnvand opløser mineralerne i jorden og transporterer næringsstofferne med sig for i den sidste ende at dumpe dem i havet.

Så længe jorden er rig på næringsholdige mineraler, trives planter og dyr storartet, men efterhånden som de oprindelige mineraler bliver brugt op, mister jorden sin frugtbarhed. Mange tropiske jorde er meget gamle. De har ikke været udsat for geologisk fornyelse i millioner af år. Derfor er de stærkt forvitrede på grund af millioner af års udvaskning. Når de primære mineraler er opløst, bliver kun de uopløselige rester tilbage – primært alumini-

I Grønland kan vi se, hvordan isen knuser fjeldet under sig, og hvordan det knuste materiale bringes ud med vandet, når isen smelter. Og det skaber masser masser af næringsrig mudder dag efter dag. Grønlands grå mudder – gletchermel – består af kvarts, feldspat og glimmer. Mineralerne er knust til et pulver, der er så fint, at det har en utrolig stor overflade, som kan reagere med vand, rødder og mikroorganismer i jorden. Fotos: Minik Thorleif Rosing.

umsoxid og jernoxid. Typiske røde tropejorde, består stort set udelukkende af disse oxider.

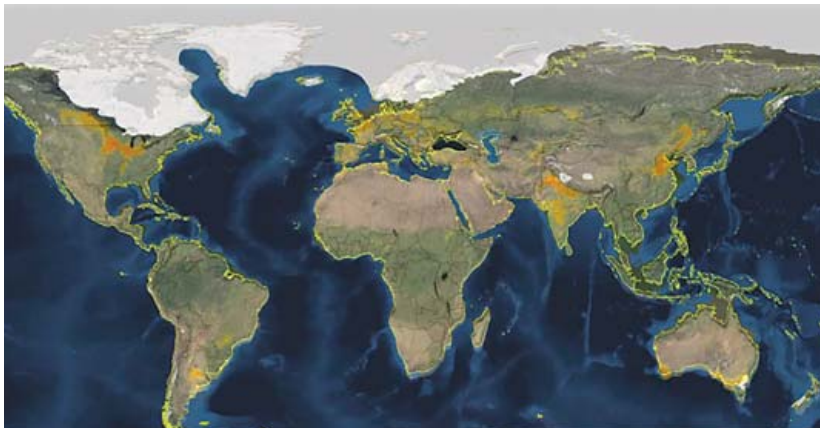
Istiden har skabt et bælte af de bedste jorde

Verdens mest frugtbare jorde findes derimod i Nordeuropa, Nordamerika og dele af Asien. De er koncentreret i et bælte, der stort set følger isranden fra den seneste istid der sluttede for 10.000 år siden. De er så produktive landbrugsmæssigt, fordi de er fulde af mineraler, som stadig har deres næringsstoffer i behold.

De store iskapper og gletsjere har pløjet sig gennem landet og skubbet de nedbrudte og næringsforarmede mineraler bort. I stedet har isen aflejret jorde fulde af nyligt nedknuste sten fra grundfjeldet. Alle disse mineraler har deres næringssalte i behold, og fordi de er pulveriserede af isen, er deres overflader frit tilgængelige for planter, svampe og bakterier i jorden, som kan frigøre næringsstofferne.

Den eneste iskappe, der er tilbage på den nordlige halvkugle, breder sig ud over Grønlands fjelde. Her kan vi stadig studere de processer, der i sin tid dannede nogle af verdens mest frugtbare jorde.

Vi kan se, hvordan isen skubber moræner op foran sig, hvordan den knuser fjeldet under sig, og hvordan det knuste materiale bringes ud fra gletsjerens underside med det vand, der strømmer ud, når isen smelter.



Den seneste istid skabte verdens mest næringsrige jorde på den nordlige halvkugle. Den gule farve, som bl.a. dækker store dele af Europa, viser, hvor der er landbrug. Kan det mudder, de grønlandske gletchere skaber, på samme vis hjælpe tropernes forpinte landsbrugsjorde? Kilde: NASA.

Foran de grønlandske bræer ligger kolossale aflejringer af det mest fortryllende, fedtede, klistrede grå mudder. Hver dag året rundt kommer millioner af tons nyt mudder oven på det mudder, der allerede har lagt sig.

Mudder er ikke bare mudder

Men mudderet i Mekongflodens delta i Sydøstasien eller på en smattet skovvej i Congo består som sagt næsten udelukkende af aluminiums- og jernoxid. Det er hvad, der er tilbage, efter al næring er vasket ud af jorden. Det grå mudder i Grønland består derimod af kvarts, feldspat og glimmer – fuldstændig som i de granitter, Grønland er formet af. Men mineralerne er knust til et pulver, der er så fint, at man ikke kan mærke den mindste smule korn eller struktur, når man gnider det mellem fingrene. Det føles nærmest som sæbe.

Klipperne er simpelthen malet til utroligt fint mel. Vi har valgt at kalde det gletsjermel. Partikelstørrelsen er vigtig, fordi det betyder, at gletsjermelet har en utrolig stor overflade, som kan reagere med vand, rødder og mikroorganismer i jorden.

Grønlandsk mel til tropernes brød

Vi har spurgt os selv: Hvad nu hvis man kunne flytte det næringsrige gletsjermel fra Arktis til troperne. I

Landbruget skabte et helt nyt samfund

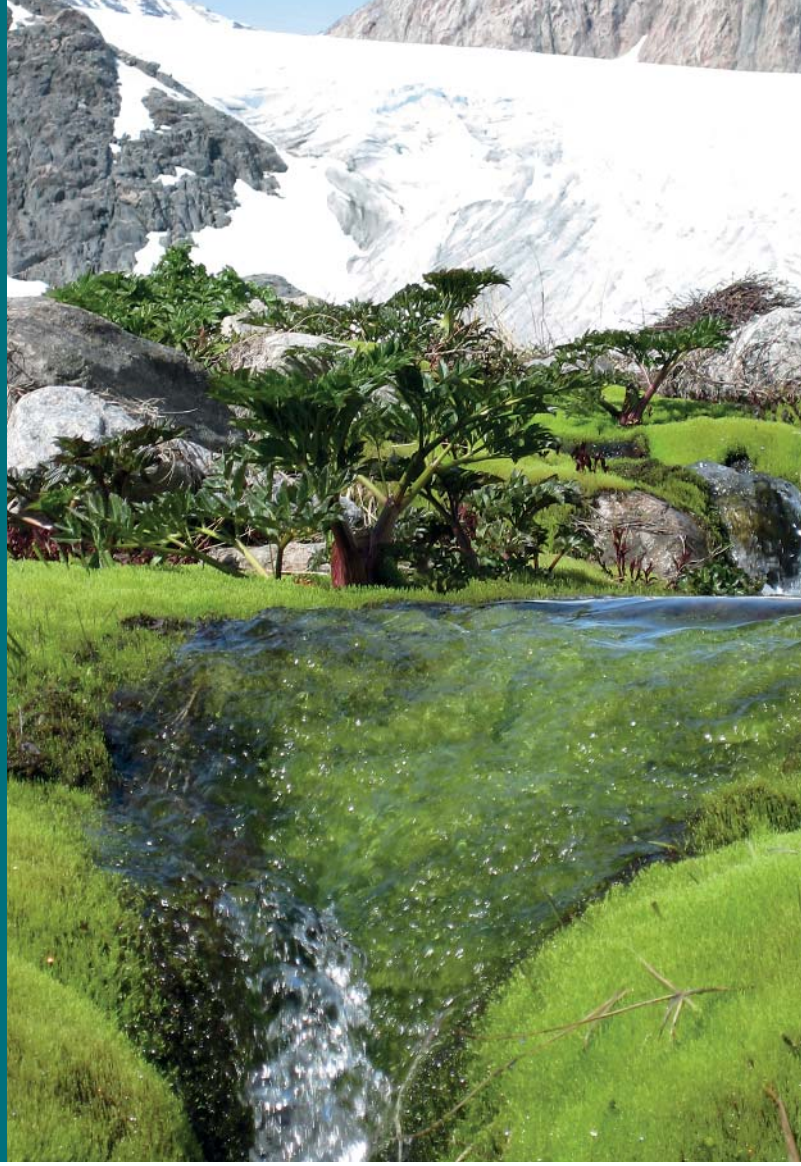
Stort set alle mennesker på jorden er helt afhængige af fødevarer produceret af landbruget. Jagt, fiskeri og indsamling af vilde planter blev stort set opgivet som grundlag for menneskehedens ernæring for 10.000 år siden, da mennesket begyndte at kultivere vilde planter og tæmme vilde dyr.

Man begyndte at ændre på naturen, brændte skove af, ledte vand gennem kanaler og forandrede landskaberne for at gøre livet så mageligt og produktivt som muligt for de nye nytteplanter.

I alle agerbrugskulturer er der en helt grundlæggende forståelse af, at alt levende optager næring fra jorden, og at næringsstoffer indgår i kredsløb, hvor de optages af planterne, spises af dyrene og vender tilbage til jorden, hver gang en organisme dør.

Planters vækst i jord er et hverdagsmirakel af de helt store: Mineralske næringsstoffer optages og bliver til væv, uorganisk bliver organisk, sten bliver levende, livet florerer. Ligeså længe vi har haft den forståelse, har vi også vidst, at der findes gode og dårlige jorde.

Mennesker, der lever på fede jorde, er rige, og dem, der lever på magre jorde, er fattige. Det er der ikke noget at gøre ved. Eller er der?



Grønland gør det ikke nogen som helst gavn, men er blot irriterende og klæber til ens gummistøvler. I det varme tropiske klima vil melet hurtigt blive aktiveret og frigive sine næringsstoffer til jorden og dens planter. Grønland ville få et nyt og fuldkommen bæredygtigt erhverv, mens befolkningerne i troperne ville opleve ny velstand, bedre ernæring og en lysere fremtid.

Kan man gøre det? Det er det spørgsmål, vi nu prøver at besvare gennem forskning – i fortsættelse af en 10.000 år gammel landbrugstradition.

Prøves på marker i Brasilien

Vi er i øjeblikket i færd med at undersøge gletsjermelets sammensætning, hvordan det forekommer, og hvor meget der er af det.

Vi tester, hvordan det påvirker planters vækst, og om der kunne være problemer forbundet med at transportere det rundt i verden eller ved at bruge det i landbruget. Vi undersøger, om vi kan accelerere frigivelsen af næringsstoffer ved at bruge bestemte planter, som udskiller organiske syrer eller ved at blande det i jorde med høj biologisk aktivitet. Vi er også interesserede i, hvor hurtigt og hvor længe gletsjermelet kan frigive næringsstoffer.

Vores foreløbige resultater fra forsøg i urtepotter her i København er utroligt opmuntrende og viser, at vores hypotese er korrekt. Vi har netop startet en serie forsøg for at se, hvordan effekterne er på rigtige tropiske marker i Brasilien.

Der mangler stadig en masse detaljerede undersøgelser, før vi endelig kan sige om en storskala transport af gletsjermel fra Grønland til troperne vil være økologisk og økonomisk bæredygtigt, men ingen af de resultater, vi har opnået indtil nu, har mindsket vores entusiasme.

Vi regner med inden for nogle få år at have de svar, vi er nødt til at kende, for at Grønland og troperne i fællesskab kan adressere to af verdens helt store udfordringer:

1) Hvordan skal vi brødføde en stadig voksende befolkning?

2) Hvordan undgår vi, at agerjorde udpines af intensivt landbrug?

Vi håber, at Grønlands behov for nye erhverv og indtjeningsmuligheder kan mødes med tropernes behov for mere effektivt landbrug – og at de to problemer kan komplimentere hinanden og efterlader en bedre og grønnere verden for os alle. ■

↑ Planterne nyder godt af den næring, gletsjeren har skabt. Foto: Minik Thorleif Rosing.

Artiklen er en opdaret version af udgaven på Videnskab.dk https://videnskab.dk/naturvidenskab/kan-groenlands-mudder-sikre-en-groennere-verden

FAREN VED AT VÆRE EN LILLE NØJSOM PLANTE

En stor gruppe af små nøjsomme vandplanter risikerer helt at forsvinde fra Danmark som resultat af 150 års dramatiske ændringer af landskabet på grund af opdyrkning og flere mennesker. Men studier af disse forandringer viser os også, hvordan vi måske kan stoppe tilbagegangen.

Forfatterne

Kaj Sand-Jensen er professor
ksandjensen@bio.ku.dk

Jens Chr. Schou er botaniker og tegner

Bjarne Moeslund er seniorbiolog ved Orbicon

Hans Henrik Bruun er lektor

Lars Båstrup-Spohr er adjunkt

KSJ; LBS og HHB er alle ved Biologisk Institut, Københavns Universitet.

Det danske landskab og plante- og dyrelivet har undergået voldsomme forandringer over de seneste 150 år fra 1870'erne og frem til i dag. Forandringer prægede også de foregående århundreder og årtusinder. Vi kan blot tænke på de første årtusinder efter istiden, da det bare landskab blev koloniseret og skov etablerede sig i Danmark, eller på Bondestenalderen og Bronzealderen, da meget skov blev fældet og erstattet af græsland, hede og ager. Men det særlige ved de seneste 150 år er, hvor hurtigt landskabet er blevet forandret, og hvor stor udskiftning i arter har været. Forandringerne er kommet i takt med, at vi er blevet tre gange flere mennesker, byer har bredt sig, spildevandet er blevet ledt til søer og vandløb, og landbruget er blevet intensiveret. Derfor er der blevet langt mindre plads til natur i det danske landskab, både som kvantitet i hektar og som kvalitet, hvor landskabet nu modtager mange flere næringsstoffer end før.

Vi interesserer os for de historiske ændringer i landskabet og floraen, fordi fortiden sætter sit præg på nutiden, og historien kan afsløre, hvilke kræfter der ligger bag fremgange og tilbagegange i arternes hyppighed. Ændringerne over 100-150 år er sædvanligvis så markante, at man slet ikke er i tvivl om, at de har fundet sted, mens studier over en kort årrække ofte efterlader tvivl om, de små ændringer afspejler lantsigtede tendenser eller blot tilfældige svingninger. Langtidsændringerne svarer normalt også bedre til de hastigheder, som arternes udbredelse og hyppighed ændrer sig med. I Danmark har vi oven i købet den fordel sammenlignet med mange andre lande, at de gamle botanikere var tidligt ude for at studere floraen. Den første videnskabelige botaniske ekspedition til jyske vandløb og søer løb således af stablen i 1895. Verdens første kvantitative undersøgelse af vandplanters hyppighed foregik i Furesøen i 1911. Mellem 1900 og 1930 er der mange omhyggelige ekskursionsberetninger om arternes tilstedeværelse i søer og vandløb rundt i hele landet. Denne registrering af arternes udbredelse i ferske vande er fortsat frem til i dag.

Forandringer og voldsomme tilbagegange for visse arter og plantegrupper præger billedet. Da vi har en politisk fastsat målsætning – både nationalt og i EU – om at stoppe tabet af biodiversitet, har vi fokus på særligt udsatte arter og plantegrupper, der indskrænkes i udbredelse og i lokal hyppighed, og dermed står i fare for helt at forsvinde fra

←↑ Den store Hampen Sø i sandområderne vest for Bryrup i Midtjylland havde en søbred med små, nøjsomme planter i 1950'erne og næsten ingen rørsump af højere planter. I dag har langskudsplanter bredt sig ude i søen, rørsumpen med høje tagrør har etableret sig på lavt vand, og næringskrævende græsser er vokset op på bredden i takt med øget næringstilførsel og ophør af græsning. Foto Jens Chr. Schou.

Landskabet i 1850 og i 2010

I 1850 var skovarealet meget lille i Danmark. Til gengæld var heder, overdrev, moser, våde enge og søer og vandløb meget mere udbredte dengang end nu. Heder, overdrev og vådområder var kulturpræget natur med husdyrgræsning for 150 år siden. Også arealer med periodisk dyrkning afbrudt af flere års braklægning var udbredte dengang. Nutidens skove er altovervejende plantager og produktionsskove. Tabellen angiver den omtrentlige procentvise fordeling:

	1850	2010
Skove	4	12
Moser og ferske enge	10	4,7
Heder og overdrev	25	2,7
Søer og vandløb	3	1,6

Danmark og vores nabolande. Vi leder efter en forklaring og en opskrift på den indsats, der kan forhindre, at disse truede arter ryger "helt ud over kanten". Denne opskrift findes måske i det landskab og de miljøforhold i søer og vandløb, der fandtes for 100-150 år siden, da disse, nu truede arter, stadig var vidt udbredte og hyppige.

Det åbne, fattige og våde landskab i 1800-tallet

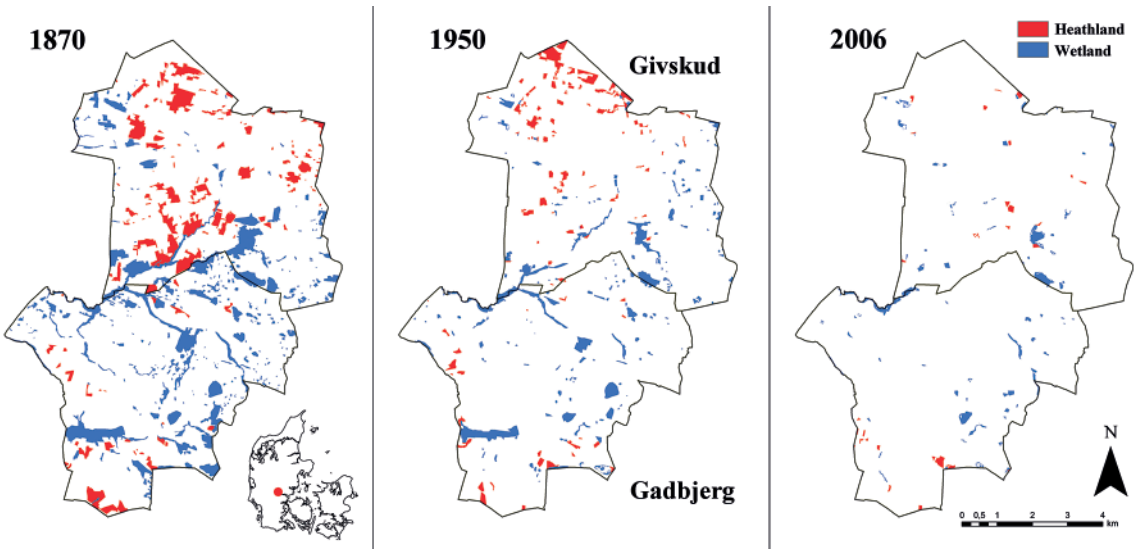
På meget gamle fotos fra Vestjylland midt i 1800-tallet er der ikke til at skue et eneste træ i miles omkreds. Men det åbne skovfattige billede fremgår også af senere landskabsfotos fra andre egne af landet. En landsdækkende opgørelse bekræfter, at skovarealet i Danmark var meget beskedent midt i 1800-tallet. Skoven var de lysåbne vestjyske egekrat på bakkeøerne og især lysåbne løvskove hist og pist i Østjylland og på Øerne. Den mørke plantede nåleskov og den tætte løvskov havde endnu ikke taget over. Hedearealet var fortsat meget stort i Midt- og Vestjylland, og hederne rummede både små og store klarvandede søer. Den største, Filsø i klitterne ved Henne Strand, var på 28 km^2 og husede store bestande af små nøjsomme plantearter. Overalt i landet var der udstrakte våde arealer med moser, fugtige kær, søer og snoede vandløb. Det danske landskab var gennemgående vådt.

Husdyrene græssede ude i det fri på overdrev og heder og medvirkede til at holde vegetationen lav, træde den op og skabe blottet jord, hvor små konkurrencesvage enårige arter kunne flytte ind og trives en tid. Også søbredderne og åbredderne var græssede. Sammen med næringsfattige forhold og naturlige vandstandssvingninger bevirkede det, at vegetationen var lav og dynamisk.

Kvælstoftilførselen fra luften var i år 1900 en fjerdedel og i 1950 det halve af nedfaldet i dag. I fordums tid var netop kvælstof en mangelvare i jorderne og i søerne. På sandbunden i midt- og vestjyske søer voksede små nøjsomme arter overalt. De voksede også i enkelt søer på det noget federe Sjælland, omend der her også fandtes en meget rigere vegetation af større vandplanter, som nød godt af det krystalklare vand med få skyggende alger.

Det fede drænede landskab i 2000-tallet

Tager vi et kæmpespring 150 år frem i tiden til 2000, møder vi et ganske anderledes landskab. Dræning har overalt sænket grundvandspejlet i jorden med op



Kort over arealanvendelsen i Gadberg og Give Sogn nær Vejle i 1870 og nu giver et fængslende billede af udvikling. Arealerne med hede og vådområder (søer, vandløb og moser) er i dag indskrænket til mindre end 10 % af arealerne i 1870. Kun ganske små pletter af hede og mose er tilbage i dag. Lars Lønsmann Iversen (original).

til flere meter og udtørret mose- og engarealer, så de har kunnet dyrkes op. Flere end 200 større søer og tusindvis af små damme er blevet udtørret. Fordums heder står nu med korn eller nåletræsplantager. Fra kornmarkerne siver næringsrigt vand ud. Fra nåletræsplantagerne er vandet mørkt som sort te og har slukket for lyset til vandplanternes eksistens i søer, som førhen var klarvandede hedesøer. Vandløbene er overalt rettet ud – de seneste så sent som i 1970'erne – og mange af de mindste er lagt i rør under jorden. Ugødskede heder, overdrev, moser, enge og ferskvand dækker nu blot få % af landets areal sammenlignet med i størrelsesordenen 38 % for 150 år siden. Arealet af søer og vandløb er skønsmæssigt halveret fra 3 til 1,6 % af landets samlede areal, selv om mange nye søer er etableret i de seneste årtier.

Mere næring begunstiger de hurtigtvoksende høje arter i det fede landskab. Forstyrrelsen ved husdyrenes græsning og trampen, rørskær og vandstandssvingninger på søbredderne er sat på "stand by", hvilket kan gøre det endnu sværere for de små nøjsomme arter at klare sig i konkurrencen med de høje næringselskende arter. De to forhold – næringsstofferne og fravær af forstyrrelsen – virker sammen. Både vandkemien og det fysiske vækstmiljø skal passe til arterne. Er søbunden næringsfattig, vinder de små nøjsomme arter altid. Er den rig på næring, vinder eller overlever de små arter kun, hvis en form for forstyrrelse af passende omfang holder de høje, næringselskende arter i skak. Sådan er det eksempelvis på bredderne af den nyoprettede Filsø, hvor bølger, svingende vandstand og især tunge kreaturers trampen og græsning holder de høje, kraftige arter nede og skaber åbne områder med lav vegetation. Men er søbunden meget næringsrig og næringstilførslen stor, har de små arter næppe nogen chance mod de store, og det kan fysisk forstyrrelse ikke ændre på. Så må der mere radikale indgreb til såsom fjernelse af de øverste mest næringsrige lag af søbunden, som har hobet sig op under perioder med stor næringstilførsel.

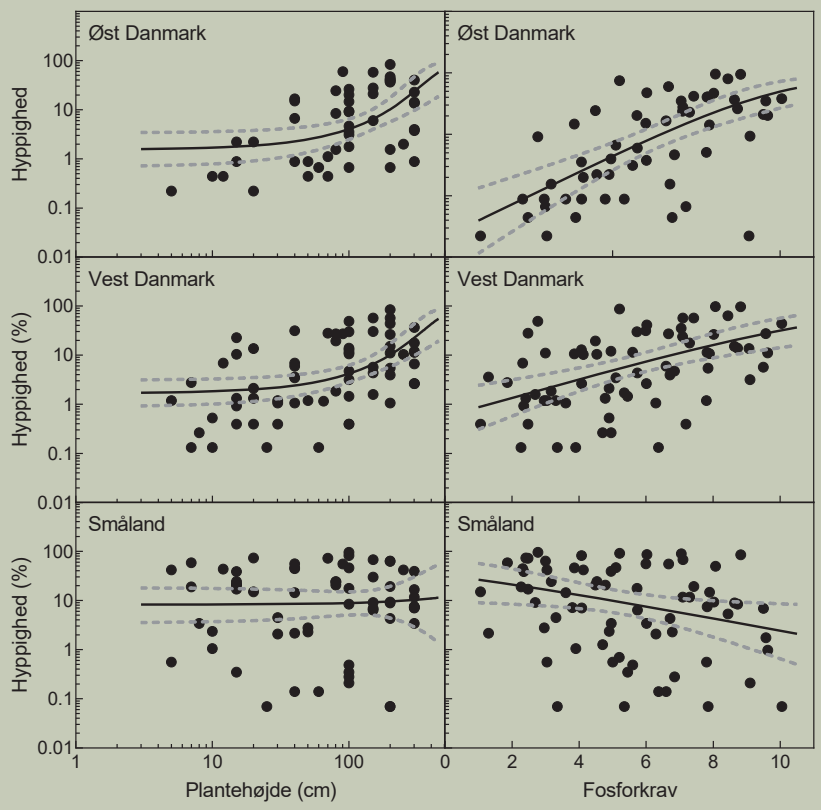
Vandplanter på retur

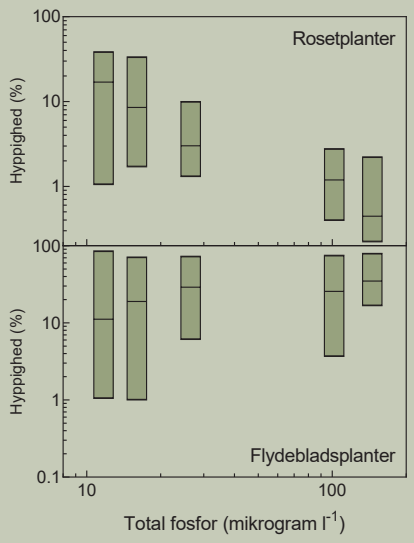
Vi har analyseret vandplanternes nuværende udbredelse i Danmark (Øerne og Jylland hver for sig) og tre regioner i Sydsverige (Skåne, Blekinge og Småland) med afsæt i omfattende undersøgelser af alle arters forekomst i 5 × 5 km kvadrater – såkaldte ruder – fordelt overalt i regionerne. I Danmark alene indgår 1300 ruder i den såkaldte Atlas Flora Danica-undersøgelse. Stort set den samme pulje på omkring 100 arter findes i alle fem regioner, men med meget forskellig hyppighed. Danmark og Skåne repræsenterer de mest befolkningstætte og intensivt opdyrkede områder i Sydskandinavien, mens Blekinge og Småland er tyndt befolkede, har et stort skovareal og et langt mindre landbrugsareal. Næringsforholdene i de fem områder bygger på målinger i mange søer.

I Danmark og Skåne findes også data for de historiske ændringer i arternes udbredelse fra tidligt til sent i 1900-tallet. Undervejs steg næringsrigdommen i søerne, mens forstyrrelsen af søbredderne forsvandt. Denne historiske udvikling i floraen kan sammenlignes med ændringer på tværs af regioner med meget forskelligt næringsindhold i vandmiljøet. Vi kan derfor besvare spørgsmålet: Svarer de historiske ændringer i floraen til de geografiske forskelle? Altså, går eksempelvis de små nøjsomme arter tilbage både med tiden og på tværs af regionerne ved øget næringsrigdom?

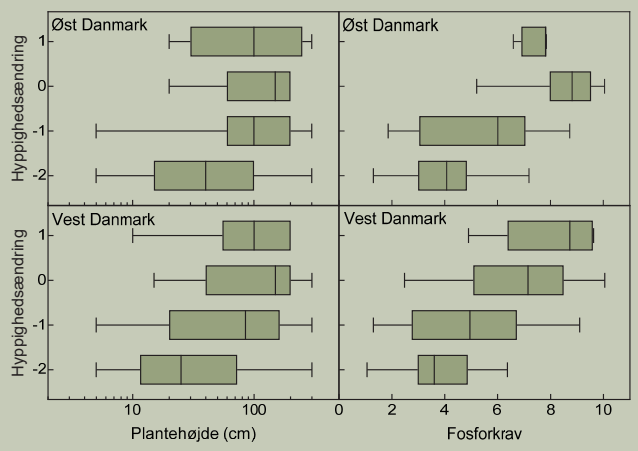
Resultaterne viser, at de små, nøjsomme arter er særligt sjældne i Østdanmark, efterfulgt af Vestdanmark og Skåne i kontrast til de høje, næringskrævende arters store hyppighed. I Blekinge og Småland er de små nøjsomme arter, omend på retur, så dog fortsat hyppigere end

Hyppigheden af vandplanter i Østdanmark (Fyn, Sjælland, Lolland-Falster), Vestdanmark (Jylland) og Småland set i forhold til arternes højde (til venstre) og deres næringskrav til fosfor (til højre). Mens små nøjsomme arter er meget sjældne i det næringsrige Danmark er de langt hyppigere i det næringsfattige Småland (Sand-Jensen et al. 2017). →





Små nøjsomme rosetplanter falder næsten 100 gange i hyppighed fra de næringsfattige søer i Småland, over Blekinge, Skåne og Vestdanmark til de ti gange mere næringsrige søer i Østdanmark. De næringselskende arter, der flyder med blade på vandoverfladen oplever til gengæld en tre gange stigning i deres hyppighed. Boksene omfatter fra 25 til 75% af observationerne med medianen vist som en streg (Sand-Jensen et al. 2017). ←

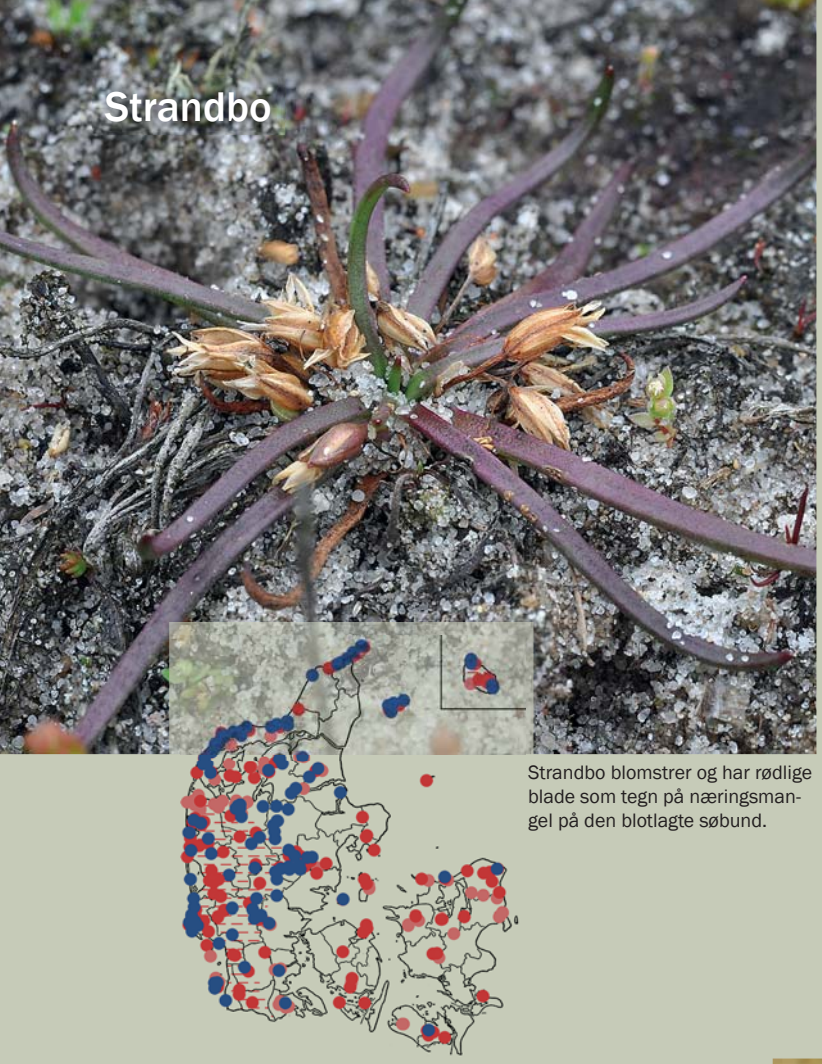


Små nøjsomme vandplanters hyppighed er gået meget mere tilbage i Østdanmark og Vestdanmark i løbet af 1900-tallet end de højere næringselskende arter. Ændringer i arternes hyppighed er beskrevet med tallene: 1 – fremgang, dog mindre end en fordobling, 0 – ingen signifikant ændring, minus 1 – tilbagegang, dog mindre end en halvering, minus 2 – tilbagegang, mere end en halvering. Boksene omfatter fra 25 til 75% af arterne med medianen vist som en streg, mens stolperne dækker hele spektret af arternes højde og fosforkrav. (Sand-Jensen et al. 2017). →

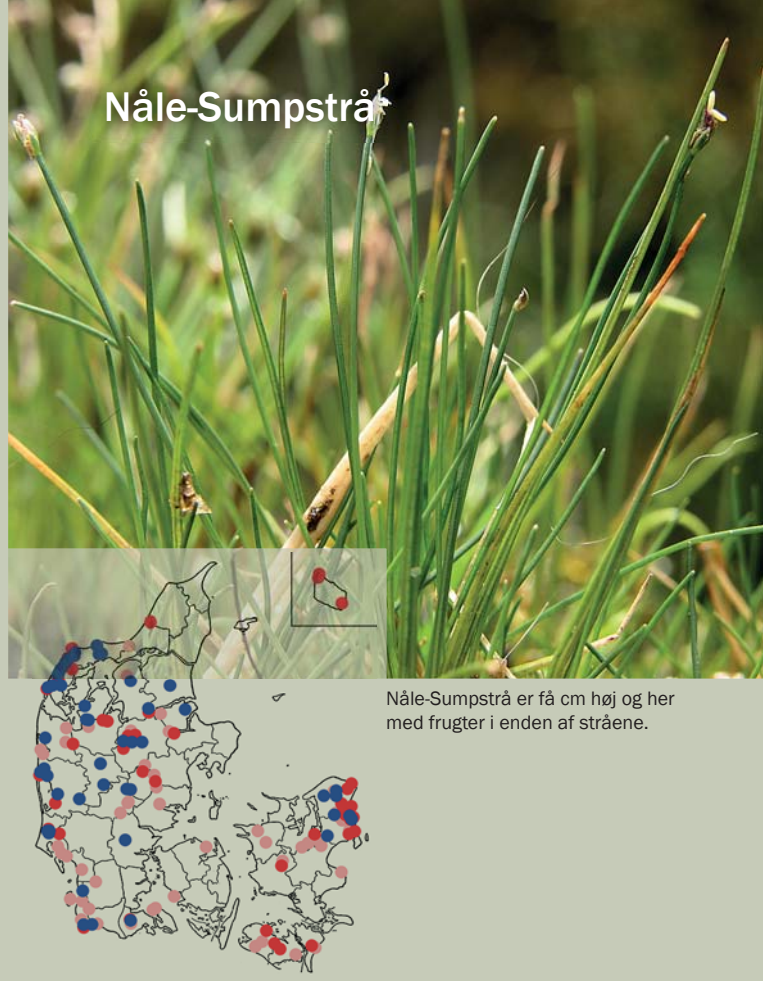
de højtvoksende næringskrævende arter. Kontrasten er særlig voldsom, hvis vi fokuserer på en gruppe af små nøjsomme vandplanter med blade i roset fra en kort stængel på søbunden. Disse arters hyppighed falder hundrede gange, når vi bevæger os fra det næringsfattige Småland til det ti gange mere næringsrige Østdanmark.

Historisk tilbagegang

Forskellene i hyppighed på tværs af områder med forskellig næringsrigdom svarer meget fint til de historiske ændringer i arternes hyppighed op gennem 1900-tallet i de mest påvirkede områder – Østdanmark, Vestdanmark og Skåne. I alle tre områder er især de små, nøjsomme arter gået tilbage, mens de høje, næringskrævende arter nogenlunde holder skansen eller i enkelte tilfælde går frem. Resultatet



Strandbo blomstrer og har rødlige blade som tegn på næringsmangel på den blotlagte søbund.



Nåle-Sumpstrå er få cm høj og her med frugter i enden af stråene.

Lobelie har smukke lyseblå blomster.

Sylblad i frugt.

Små nøjsomme plantearter i søerne har oplevet en voldsom indskrænkning af deres udbredelse i takt med tab af naturlokaliteter, øget næringstilførsel og mindre fysisk forstyrrelse. Kortene viser den registrerede historiske udbredelse i perioden før 1990 (røde prikker) og udbredelsen efter 1990 (blå prikker). I langt de fleste tilfælde er nuværende forekomster også historiske forekomster; det vil sige under blå prikker er der skjulte røde prikker. (Jens Chr. Schou, original).

Fotos: Jens Chr. Schou og Theis Kragh.

understreger, at det er ændringer i næringsniveau og landbrugspraksis i landskabet i relation til arternes tolerance for næring og konkurrence, som især driver udviklingen i deres hyppighed.

Stiller vi et øjeblik skarpt på ændringer i udbredelsen af de små nøjsomme plantearter i Danmark på de enkelte lokaliteter, så er billedet tilsvarende klart. Tidligere var arterne vidt udbredte med voksesteder overalt i Danmark, dog langt flere egnede voksesteder på de fattige sandjorder i Midt- og Vestjylland end på Øerne. Idag er adskillige af arterne enten yderst sjældne eller helt forsvundet fra Øerne og Østjylland, og selv i Midt- og Vestjylland er udbredelsen meget kraftigt indskrænket. Nogle arter er ikke set de sidste 10-20 år og er måske helt forsvundet fra landet.

Indgreb eller laden stå til?

Naturstyrelsen forsøger visse steder langs Vestkysten at sætte skub i sandet og klitterne igen ved at fjerne den etablerede vegetation med håbet om, at der igen kan opstå lavvandede søer, hvor det rene grundvand siver frem ved foden af nydannede klitter. Indsatsen hjælper også små sjældne klitplanter på åbent sand. I Nationalpark Thy er man på et enkelt sted gået videre, idet man på forsøgsbasis har skrabet vegetationen og de øverste jordlag bort og har skabt en ny sø på den blottede næringsfattige sandbund. En lignende fremgangsmåde har man anvendt i Holland i søer, der havde mistet sin oprindelige vegetation af små nøjsomme og yderste sjældne plantearter på grund af tilvoksning med større trivielle arter og ophobning af et næringsrigt mudderlag på bunden som følge af forurening. Efter bortskrabning af mudderlaget ned til den oprindelige fattige sandbund har små nøjsomme arter, som man troede var forsvunder fra Holland, spiret op fra overlevende frø og har bredt sig. I dag har man ti sådanne restaurerede søer med ikon-arten lobelie, mens der for 30 år siden ikke var nogen tilbage.

Området vest for Bramslev Bakker på nordsiden af Mariager Fjord havde lave nedbidte enebærbuske og store pletter med bart sand på skrænterne og i strandzonen i 1920'erne. I dag er skrænterne dækket af tæt skov og et grønt græstæppe dækker stranden. Nyt foto: Jens Chr. Schou.

På steder herhjemme, hvor man kan skrælle den næringsrige jord bort og blotte den fattige istidsjord nedenunder i forbindelse med genetableringer af søer, vejgennemskæringer og byggeprojekter er det bare om at gøre det. Så giver man de nøjsomme plantearter en ny chance i nutidslandskabet. Derfor er det også en decideret naturskadelig praksis at lægge muldjord på ved retablering af færdiggravede råstofgrave eller ved vejbyggeri. Lad endelig den næringsfattige mineraljord få lov til at præge floraen og faunaen. Det bliver den bare meget mere spændende af. Og lad være med at så plænegræsser, lupiner eller andet. Den erkendelse har heldigvis vundet gehør de seneste år.

Tvorup Hul i Nationalpark Thy har oplevet voldsom brunfarvning af vandet og tilbagegang af vandplanterne over de seneste årtier. Udviklingen skyldes stigende tilførsel af meget brunt grundvand og overfladevand fra fyrreplantager omkring søen. Brunfarvningen skyldes dannelse af mange humusstoffer fra døde nåle og grene på jorden. Førhen var søen omgivet af lynghede, som danner klart grundvand. Opskriften på at reducere vandets brunfarvning er derfor at fjerne fyrreplantagerne i søens opland og atter lade heden udvikle sig. I Sverige har man oplevet voldsom brunfarvning af tusindvis af søer og også her har tilplantningen med nåleskov været en afgørende grund til den kedelige udvikling i søernes kvalitet. Hvidsjön i det nordlige Skåne burde i dag omdøbes til Mörksjön.

Eksemplerne viser, hvor vigtig det fysiske vækstmiljø, søbundens karakter og fravær af høje konkurrenter, er for de små nøjsomme arters overlevelse. Vandets næringskvalitet, som man normalt planlægger ud fra i den offentlige miljøforvaltning, er ikke tilstrækkelig til at vurdere søernes kvalitet og floraens muligheder. Foreløbige eksperimenter viser, at det især er arternes lave statur, der er de små nøjsomme arters akilleshæl. Selvom visse små arter kan sprede sig ganske hurtigt med udløbere, så taber de alligevel i konkurrencen med høje arter, som vokser dem over hovedet og udskygger dem med mindre forstyrrelsen er tilpas intensiv, eller næringsindholdet i søbunden og vandet virkeligt reduceres markant. Forstyrrelsen skal holde de høje arter nede og skabe en åben bund, som de små arter er gode til at kolonisere.

Med den rette balance mellem forstyrrelse og næringsreduktion og opmærksomhed på oplandets udnyttelse skal naturforvalterne gerne nå frem til at holde de små nøjsomme vandplanter i live også i fremtiden. Danmark har lovet at standse tabet af biodiversitet i 2020, og det kræver handling i forhold til de arter, der er tættest på at "ryge ud over kanten". Det er arter som Sylblad, Krybende Søpryd og Korsarve, som blot har ét, to eller måske slet ingen voksesteder tilbage i Danmark. ■

Videre læsning:

Sand-Jensen, K., Bruun, H.H., Nielsen, T.F., Christensen, D.M., Hartvig, P., Schou, J.C. and Baastrup-Spohr, L. 2018. The dangers of being a small, oligotrophic and light demanding freshwater plant across a spatial and historical eutrophication gradient in Southern Scandinavia.Frontiers Plant Science 9, 66.

FYSIKERNES HEMMELIGE VÅBEN

Fysikernes form for bogstavregning gør det muligt at udlede nye formler ved dimensionsanalyse. Dette hemmelige våben kan andre fagområder også have glæde af, da det kan give en dybere forståelse af sammenhænge, der ellers blot er erfaringsbaserede.

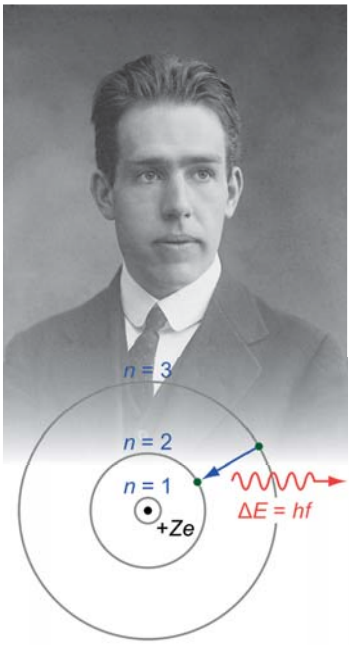
Om forfatterne

Jens Højgaard Jensen er lektor i fysik på Roskilde Universitet. Forfatter af klumme om fysikopgaver i Kvant (Tidsskrift for Fysik og Astronomi)
jhj@ruc.dk

Tina Hecksher er lektor i fysik på Roskilde Universitet. Hun er tilknyttet forskningsprojektet Matter, der er støttet af Villum Fonden.
tihe@ruc.dk

Det er indlysende, at ligningen 18 får = 18 mursten er noget vrøvl, selvom der står 18 på begge sider af lighedstegnet. På samme måde er 18 sek = 18 m noget vrøvl. I gymnasiet skal man derfor i fysiktimerne lave enhedskontrol af sine udregninger. Hvis en udregning ikke ender med samme *slags* enheder på begge sider af lighedstegnet, er der begået en fejl, som man bør finde og rette. Den ene side af lighedstegnet må for eksempel ikke have enheden m/sek, medens den anden side af ligningen har enheden m/sek^2. Det afgørende ved enhedskontrol er, at enhederne på hver sin side af lighedstegnet repræsenterer samme slags fysiske størrelse, for eksempel den fysiske størrelse hastighed. Eller sagt på en anden måde: De to sider af ligningen skal have samme dimension, for eksempel dimensionen hastighed (som er en længde divideret med en tid). Når fysikere laver dimensionsanalyse udnytter de konsekvenser af dette krav – ikke blot til enhedskontrol, men også til teoretisk at udlede nye formler ud fra kendte formler og nye antagelser.

Da Niels Bohr i 1913 udviklede den model for brintatomet, som skulle



blive startskuddet til kvantemekanikken og forståelsen af elektronernes opførsel i atomerne, lod han sig således lede af dimensionsanalyse. Og der er mange spørgsmål indenfor fysikken, man kan tænke sig til svaret på ved hjælp af dimensionsanalyse – uden at udføre et eneste eksperiment. For eksempel, hvor lang tid det tager et timeglas på Månen at tømmes.

Det er imidlertid ikke kun fysikere, der har glæde af dimensionsanalyse. Også specialiserede ingeniører, for eksempel dem, der laver hydrodynamiske og aerodynamiske modelforsøg, bruger dimensionsanalyse som et vigtigt værktøj. Men slagkraften af dimensionsanalyse er skjult for mange, der kunne have udbytte af tankegangen - også uden for fysik og specialiserede ingeniørfag. Artiklen her er ment som en introduktion til dimensionsanalyse og tænkningen bag.

Symboler i fysik og matematik

I matematik og fysik udtrykker vi os ved hjælp af symboler. Talsymboler, eksempelvis 18, når vi regner med tal (aritmetik). Bogstaver som pladsholdere for tal, når vi regner med bogstaver i matematik (algebra). I fysik regner vi, som i matematik, også med bogstaver. Her er bogstaverne imidlertid pladsholdere for fysiske størrelser, ikke for tal. Kort fortalt er dimensionsanalyse relevant, når vi regner med formler, hvor bogstaverne i formlerne repræsenterer fysiske størrelser, ikke tal som i matematikken.

For at tydeliggøre tænkningen bag dimensionsanalyse vil vi groft skitsere de tre abstraktionsspring ved brugen af symboler i matematik og fysik gennem menneskehedens historie:

Pythagoras' sætning

Et af de enkleste eksempler på dimensionsanalyse er det nedenstående bevis for Pythagoras' sætning. Udover at være enkelt, er eksemplet også dialogåbnende i forhold til umiddelbart dimensionsanalyse-skeptiske matematikere. I online-versionen af artiklen findes flere, mere komplicerede, men også mere repræsentative eksempler.

De fleste kender formlen $c^2 = a^2+b^2$, som udtrykker forholdet mellem sidelængderne i en retvinklet trekant. Det er en meget berømt geometrisk sætning, som der findes hundredvis af mere eller mindre komplicerede beviser for (se fx. www.cut-the-knot.org/pythagoras/ som indeholder en samling på 120 af slagsen). Her vil vi skitsere et dimensionsargument for sætningen.

En retvinklet trekant er entydigt bestemt ud fra længden af hypotenusen, c, og den mindste vinkel, θ. Arealet A af trekanten er således også en entydigt bestemt funktion af disse to størrelser.

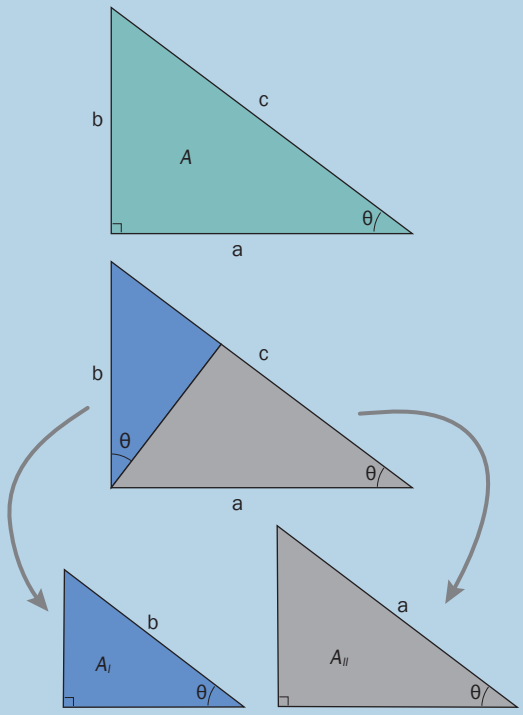
På figuren er den retvinklede trekant opdelt i to retvinklede trekanter med henholdsvis arealerne A_I og A_{II}. Det ses af figuren, at de to trekanter har samme form som den store trekant, begge med vinklen θ som deres mindste vinkel, men med hypotenuserne b og a.

Arealet af den oprindelige trekant opfylder:

$$A = A_I + A_{II}$$

Nu vil vi bruge dimensionsanalyse til at gå et skridt videre i beviset.

Da vinklen θ er dimensionsløs (den har ikke en fysisk enhed), og arealet af trekanten skal have dimensionen areal (længde gange længde), må A af dimensionsgrunde være tvunget til at have formen $c^2 \cdot f(\theta)$, hvor f er en entydig funktion alene af θ. Vi vil ikke på andre måder



kunne få dimensionen areal ud af størrelserne c og θ. Tilsvarende gælder $A_{II} = a^2 \cdot f(\theta)$ og $A_I = b^2 \cdot f(\theta)$.

Læg mærke til, at vi ikke behøver kende det eksakte udtryk for $f(\theta)$. Vi har kun brug for, at $f(\theta)$ er entydigt bestemt. (I dette tilfælde kan vi dog beregne $f(\theta) = 1/2 \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\theta)$.)

Sætter vi udtrykkene ind i $A = A_I + A_{II}$ får vi:

$$c^2 \cdot f(\theta) = a^2 \cdot f(\theta) + b^2 \cdot f(\theta)$$

Ved division med $f(\theta)$ på begge sider af lighedstegnet fås

$$c^2 = a^2 + b^2,$$

altså Pythagoras' sætning.

Ved at tælle har man i forhistorisk tid kunnet nå frem til, at mine otte får plus dine fem får tilsammen udgør en flok på tretten får. Ligeledes har man kunnet finde ud af, at hvis vi bunker mine otte mursten med dine fem mursten, så har vi tretten mursten i bunken. Abstraktionsspringet består da i, at otte plus fem er tretten, uanset om det drejer sig om får, mursten eller alt muligt andet. Med vor tids skrivemåde gælder udsagnet: 8 + 5 = 13, generelt for tal. At der er tale om en abstraktion ses af, at det er noget, der kræver undervisning i de små klassetrin i skolen. Når man i dag snakker om at tælle på fingrene har det altså ikke så meget med fingre at gøre, som det har med en abstrakt tænkemåde at gøre.

Det andet abstraktionsspring består i at erstatte tal med bogstaver. Abstraktionsgraden øges selvfølgelig, når vi lader bogstaver være pladsholdere for tal. Lad os som illustration se på udtrykket (a+b)(a-b). Ved at benytte regnereglerne for tal for a og b kan parenteserne ganges ud til $a^2 - ab + ba - b^2$. Da ab = ba fås derfor $(a+b)(a-b) = a^2-b^2$ som en alment gældende formel. Da vi har udført de samme operationer med a og b, som vi kunne gøre med for eksempel tallene 17 og 3½, eller alle mulige andre par af tal, ses den enorme økonomiske gevinst ved abstraktionsspringet fra at regne med tal (aritmetik) til at regne med bogstaver (algebra): Ved at regne med bogstaver kan vi på en gang finde formler som gælder for alle talsituationer. Fantastisk!

Det tredje abstraktionsspring er, når bogstaverne i formelregning forstås, ikke som pladsholdere for tal, men som pladsholdere for fysiske størrelser. Hvis vi siger, at Lise og Anna vejer lige meget, eller at Jan vejer dobbelt så meget som de to hver for sig, er det udsagn om fysiske størrelser, ikke om tal. Vi behøver ikke tal for at bekræfte udsagnene. Det første udsagn kan bekræftes ved at Lise og Anna sætter sig i hver sin ende af en vippe. Det andet ved at Lise og Anna sammen sidder i den ene ende af vippen og Jan i

Dimensionsanalyse – sådan gør man!

Arbejdet med denne artikel har været vanskeligt: Hvordan skrive en artikel om udledning af formler uden illustrerende brug af formler? I det væsentlige har vi undgået formlerne, da erfaringen er, at mange, også blandt læserne af dette blad, går uden om formler. Til læsere, som har fået lyst til at vide mere om, hvordan man faktisk gør, har vi udarbejdet fem eksempler på dimensionsanalyse, som du kan finde på AktuelNaturvidenskab.dk og i en udvidet onlineversion af artiklen.

I dette ekstramateriale har vi udfoldet de to eksempler nævnt i artiklen om at finde svingningstiden og omløbstiden for henholdsvis et pendul og en satellit, og hvorfor permeabiliteten nødvendigvis må afhænge af kvadratet på størrelsen af partiklerne, når vand strømmer gennem materialer (Darcys lov).

Desuden har vi et eksempel fra biologiens verden om, hvor hurtigt fugle basker med vingerne i stillestående luft samt to yderligere fysikeksempler om størrelsen på et atom, og hvor hurtigt sand løber gennem et timeglas på månen.

den anden. Ligningerne $m_L = m_A$ og $m_L + m_A = m_J$ for masserne af Lise, Anna og Jan giver mening, uden at vi skal en omvej omkring enheder og tal. I fysikken har det gennem de seneste par hundrede år gradvist stået klarere, at bogstavregningen i teoretisk fysik repræsenterer regning med fysiske størrelser fremfor med tal. Massen af Lise er ikke et tal. Den kan udtrykkes ved et tal gange en enhed, for eksempel 50 kg. Men den kan også beskrives som 50.000 g. Eller som 110,23 lb. Uanset hvilke enheder med dertil hørende tal, vi benytter, er det størrelsen massen af Lise, der er tale om. Og i teoretisk fysik behøver vi ikke vælge enheder for at foretage beregninger. Det er først, når vi sammenligner med målinger, at vi har behov for enheder og dertil hørende tal.

Størrelser og dimensioner i fysik

I geometri kan vi sige, at for eksempel hypotenusen i en retvinklet trekant har dimensionen længde. Man skriver [c] = L, som skal læses som "dimensionen af c er længde". Med længde som enkeltstående basisstørrelsesart gælder så $[c^2] = L^2$, idet c^2 er af den af basisstørrelsesarten længde afledte størrelsesart areal. Da størrelsesarten vinkel er afledt som forholdet imellem to længder, kan vi for en vinkel, φ, skrive [φ] = 1, hvor 1-tallet markerer, at størrelsesarten vinkel regnes dimensionsløs. Alt sammen meget formelt og umiddelbart værdiløst, hvis ikke det kunne fungere som en overgang til, hvordan der arbejdes med basisstørrelsesarter, afledte størrelsesarter og dertil svarende dimensioner i fysik.

Det internationalt vedtagne SI-system, som lærebøgerne i fysik nu om dage skrives i overensstemmelse med, er opbygget af to omgange. Først er det fastlagt, hvilke basisstørrelsesarter systemet skal bygges på. Nemlig størrelsesarterne længde, masse, tid, elektrisk strømstyrke, temperatur, lysstyrke og stofmængde. Derefter er der besluttet enheder for basisstørrelsesarterne, nemlig meter, kilogram, sekund, ampere, kelvin, candela og mol. Herudfra kan der defineres afledte størrelsesarter med hertil hørende dimensioner og afledte enheder. For eksempel er størrelsesarten hastighed afledt af basisstørrelsesarterne længde og tid med dimensionen L/T og enheden m/sek, idet dimensionen af størrelsesarten tid kaldes T. Kort fortalt har SI-systemet haft en dobbelt betydning for fysik. I forhold til eksperimentalfysik leverer det måleenheder. I forhold til teoretisk fysik styrer det, i kraft af valget af basisstørrelsesarter, måden formler skrives på, og måden størrelsesregning i fysik foregår på.

Teoretisk forskning ved hjælp af dimensionsanalyse

Når bogstavregning i fysik forstås som regning med fysiske størrelser med forskellige dimensioner, er det ikke så svært at forstå, hvad dimensionsanalyse bygger på. Det giver kun mening at addere, subtrahere eller sætte fysiske størrelser lig med hinanden, hvis de har samme dimension. Derimod giver det mening at gange og dividere fysiske størrelser med hinanden til nye slags størrelser. For eksempel kan hastigheden 1 m/sek opnås ved at dividere 18 meter med 18 sekunder. Ved bogstavregning med fysiske størrelser ganger og dividerer vi med bogstaverne som pladsholdere for pakker af tal gange enheder. Men vi kan kun addere og subtrahere bogstaver, der repræsenterer størrelser med samme dimension. Og vi kan kun sætte bogstavudtryk lig hinanden, hvis størrelserne på hver side af lighedstegnet har samme dimension. Det er kernen i dimensionsanalyse.

Ved anvendelse af Newtons mekanik kan svingningstiden for penduler udregnes til at være givet ved formlen $\tau = 2\pi\sqrt{l/g}$, hvor τ er pendulets svingningstid, og *l* og *g* er henholdsvis pendulets længde og tyngdefeltstyrken på Jorden. Ved en anden slags anvendelse af Newtons mekanik kan omløbstiden

for satellitter nær Jordens overflade udregnes til at være givet ved formlen $\tau = 2\pi\sqrt{R/g}$, hvor τ nu er omløbstiden for satellitter, og R og g henholdsvis er Jordens radius og tyngdefeltstyrken på Jorden.

De to formler, kan også udledes ved dimensionsanalyse – bortset fra faktoren 2π i formlerne. Ifølge formlerne afhænger hverken pendulsvingningstider eller satellit-omløbstider af henholdsvis pendulernes eller satellitternes masser. Det er umiddelbart til at forstå ud fra dimensionsanalyse. Vi kan nemlig ikke få dimensionerne til at passe, hvis vi i en formel for τ lader en masse indgå på højre side af formlen. Dimensionsanalysen forklarer også, hvorfor formlerne er ens bortset fra ombytningen af pendullængden og Jordens radius, selvom måderne de traditionelt udledes på afviger fra hinanden.

Et værktøj ikke kun for fysikere

Også uden for fysik kan man teoretisk tænke sig til formler ved hjælp af dimensionsanalyse. I hydrogeologi bruger man udtrykket permeabilitet til at beskrive vands bevægelse igennem materialer i undergrunden (for eksempel sand eller grus). Ifølge lærebogslitteraturen i hydrogeologi er det en måleerfaring, at permeabiliteten er proportional med kvadratet på størrelsen af partiklerne i materialet. Dimensionsanalyse viser imidlertid, at det, med de gjorte antagelser i hydrogeologi, ikke kan være anderledes. Når måleresultatet viser, at permeabiliteten afhænger af kvadratet på størrelsen af partiklerne, er det derfor ikke så interessant, som hvis det viste en afvigelse herfra. For så ville det nemlig rette søgelyset imod primære antagelser i hydrogeologien. Man kan også teoretisk tænke sig til resultater i biologi ved hjælp af dimensionsanalyse. Hvor hurtigt basker en stillestående lærke med vingerne, sammenlignet med hvor hurtigt en stillestående høg basker med sine vinger?

Dimensionsanalyse er altså ikke forbeholdt fysik – alle fag, der tænker i fysiske størrelser, kan have glæde af det. Permeabiliteten i hydrogeologi og vingebaskefrekvensen for stillestående fugle er lige såvel fysiske størrelser (med reference til SI-systemet), som de fysiske størrelser, vi udregner formler for i fysik.

Men opfattelsen af formler er afgørende for at udføre dimensionsanalyse både i fysik og andre fag.

Den mest udbredte opfattelse af formler er, at de er en form for stenografisk fremstilling af måleresultater. Og opfattet således, giver det ikke mening at nå frem til formlerne ved hjælp af dimensionsanalyse. Vi må da nøjes med enhedskontrol.

Dimensionsanalyse hænger sammen med en teoretisk tilgang til udledningen af formler: Givet de og de formler i forvejen sammenholdt med de og de antagelser til lejligheden, hvad fører det til? Det er i en sådan situation, at dimensionsanalysen kan være teoretisk vejledende.

At dimensionsanalysen er et hemmeligt våben for fysikere frem for udøvere af andre fag, hænger nærliggende sammen med tyngden af formaliseret teori i fysik. Ikke desto mindre er dimensionsanalysen overset som tænkemåde, ikke alene i andre fag, men også blandt mange fysikere . ■

Videre læsning:

Jan de Boer, Symboler og betegnelser i matematikken og fysikken, Fysisk Tidskrift 86 (1988) 49

Einstein gjorde noget tilsvarende vores bevis her for Pythagoras sætning som 11-årig, se S. Strogatz, Einsteins first proof, The New Yorker (19 november 2015).

For yderligere inspiration fra vores hånd se J.H. Jensen, Atlanterhavsbølger, KVANT December 2015, 29, J. H. Jensen, Bohrs atommodel, KVANT Maj 2016, 33 og T. Hecksher, Insights through dimensions, Nature Physics, 13 (2017), 1026.

En mere omfattende introduktion på dansk til dimensionsanalyse kan findes ved at google IMFUFA tekster og gå til tekst nr. 269, en studenterprojektrapport fra RUC skrevet af Tine Guldager Christiansen, Ken Andersen, Nikolaj Hermann og Jannik Rasmussen i 1994.

Science på RUC

Naturvidenskab i virkeligheden

Interesserer du dig for Matematisk Modellering?

Nye uddannelser på Roskilde Universitet:

→ **Mathematical Computer Modelling**
→ **Mathematical Physical Modelling**

ruc.dk/matematik-pa-roskilde-universitet

RUC

KVANTEFELTTEORI
FRA EN OTTE SIDER LANG FORMEL TIL BAGSIDEN AF EN SERVIET

Vores forståelse af vekselvirkninger på naturens mest fundamentale niveau bygger på drabelige beregninger inden for såkaldt kvantefeltteori. Jacob Bourjaily arbejder på at gøre de drabelige beregninger mere simple og dermed også smukkere.

Da den berømte engelske fysiker Paul Dirac, en af kvantemekanikkens grundlæggere, i 1956 besøgte universitetet i Moskva, blev han, som traditionerne foreskrev, bedt om at skrive et selvvalgt budskab på en tavle. Med store bogstaver skrev Dirac sætningen: *A physical law must possess mathematical beauty* (En fysisk lov skal besidde matematisk skønhed).

I en vis forstand kan man sige, at "smuk" i denne sammenhæng bør oversættes til "simpel", om end det ikke betyder, at vi snakker om noget, der hverken er let eller ukompliceret. Det vil trods alt være en tilsnigelse at kalde kvantefeltteori for let.

For de fleste mennesker giver det nok heller ikke så megen mening at snakke om matematisk skønhed eller simpel kvantefeltteori, men det gør det for Jacob Bourjaily, der er adjunkt på Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet. Når vi andre ser tal og mystiske græske symboler i én vild forvirring, ser han den teoretiske fysiks svar på Mona Lisa.

»I de seneste år har vi næsten dagligt lært, at selv de smukke love, som Dirac beskrev, matematisk set er langt smukkere, end han selv kan have forestillet sig,« siger Jacob Bourjaily.

Kvantefeltteori er en matematisk værktøjskasse

Dyb vejrtrækning, og hold nu fast, for her kommer et lynkursus i kvantefeltteori:
Kvantefeltteori er den matematiske ramme, som forskere bruger til at beskrive naturens mest fundamentale love. Det er et sæt matematiske værktøjer for studier af vekselvirkninger mellem elementarpartiklerne, eksempelvis kvarker, fotoner, gluoner og elektroner. Hvordan opfører de sig, når de er tæt på hinanden? Kvantefeltteorien er så at sige værktøjskassen for forståelse af naturens mest fundamentale love, på samme måde som geometrien er den matematiske værktøjskasse for forståelsen af rum, og algebra er den matematiske værktøjskasse til forståelse af matematiske operationer som plus, minus, gange etc.

Så langt så godt. Nu skal vi bare lige have på plads, hvad kvantefeltteorien gør godt for.

Sammenligner man kvantefeltteori med en af fysikkens mest berømte love, Newtons anden lov (kraft = masse x acceleration), kan man bedre forstå, hvad man skal bruge kvantefeltteori til. Newtons anden lov gør det muligt at forudsige, hvad der vil ske i fremtiden, når man kender til nogle objekters masser samt de kræfter, som influerer på dem. Forestil dig et billardbord, hvor ballerne flyver henover den grønne filt. Ballerne har hver især en masse, og de bliver påvirket af kræfter, som kan være friktionen med underlaget, vindmodstanden, tyngdekraften, stødet med køen og så videre. Hvis man kender til størrelsen på masserne og de kræfter, som påvirker ballerne, kan man regne ud, hvor alle ballerne vil være på bordet efter et stød. Voila, sådan fungerer det.

Samme princip fungerer i alle mulige sammenhænge. Eksempelvis beskrev Newton selv, hvordan man ved hjælp af tyngdekraften og planeternes positioner på et givent tidspunkt (masserne) kan regne ud, hvor planeterne vil være på et hvilket som helst tidspunkt ude i fremtiden – en eksperimentel forudsigelse. Samme princip gælder inden for kvantefeltteori.

»Som med klassisk fysik er det nødvendigt med to informationer for at kunne lave forudsigelser i kvantefeltteorien: Tilstanden af de involverede partikler og de kræfter, som de interagerer med,« forklarer Jacob Bourjaily.

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, Lars Arge. Læs mere på www.dff.dk

Atlas-eksperimentet med LHC på CERN har til formål et kortlægge naturens mest fundamentale byggesten og naturens mest fundamentale kræfter. Illustration: ATLAS Collaboration - CERN.

CERN kan ikke eksistere uden kvantefeltteori

Inden for kvantefeltteorien regner man dog ikke på planeternes placering på nattehimlen eller billardballerne på den grønne fil, men derimod på udfaldet af vekselvirkningerne mellem de mindste bestanddele af atomer.

Kvantefeltteorien er eksempelvis nødvendig for at forstå de eksperimenter, som man laver med den store partikelaccelerator LHC (Large Hadron Collider) på CERN, hvor forskere skyder protoner ind i hinanden. Udfaldet af disse kollisioner kan forskere forudsige teoretisk ud fra såkaldte spredningsamplituder, der angiver den relative sandsynlighed for de mulige udfald af en given vekselvirkning mellem partiklerne. Her skal vi have fat i kvantefeltteoriens matematiske værktøjskasse, for at den slags beregninger og forudsigelser kan komme i hus. Det lyder måske som simple beregninger, men det er det langt fra. Ifølge Jacob Bourjaily har det krævet heroiske anstrengelser og en meget stor kugleramme at komme dertil, hvor vi er i dag, og hvor det overhovedet kan lade sig gøre.

Simpelt regnestykke blev til en otte sider lang formel

Et eksempel på kompleksiteten i kvantefeltteoriens matematiske værktøjskasse er en beregning af, hvordan man kan støde 2 gluoner ind i hinanden og få 4 gluoner ud af det. Det kan man på lige præcis 220 forskellige måder. Det lyder måske ikke af meget, men da forskerne Stephen Parke og Tomasz Taylor i 1985 lavede en matematiske formel, som beregnede de 220 forskellige kollisioner, måtte de benytte en af datidens supercomputere til at komme frem til en otte sider lang formel (8 sider!), som

Om Jacob Bourjaily

Jacob Bourjaily er adjunkt ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Han afsluttede sin ph.d. i 2011 ved Princeton University og fortsatte derefter sit arbejde ved Harvard University, indtil han i 2014 flyttede sig selv og sin forskning til Danmark.

Med økonomisk støtte fra Det Frie Forskningsfond har Jacob Bourjaily opbygget sin egen forskningsgruppe på Niels Bohr Institutet, som inden for kvantefeltteori har været verdensledende i mange år. Muligheden for at arbejde sammen med kollegaerne på Niels Bohr Institutet spillede en stor rolle i Jacob Bourjailys beslutning om at flytte til Danmark. Jacob Bourjaily har også arbejdet med strengteori og partikelfysisk fænomenologi.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Fra Feynman-diagrammer til ny forståelse

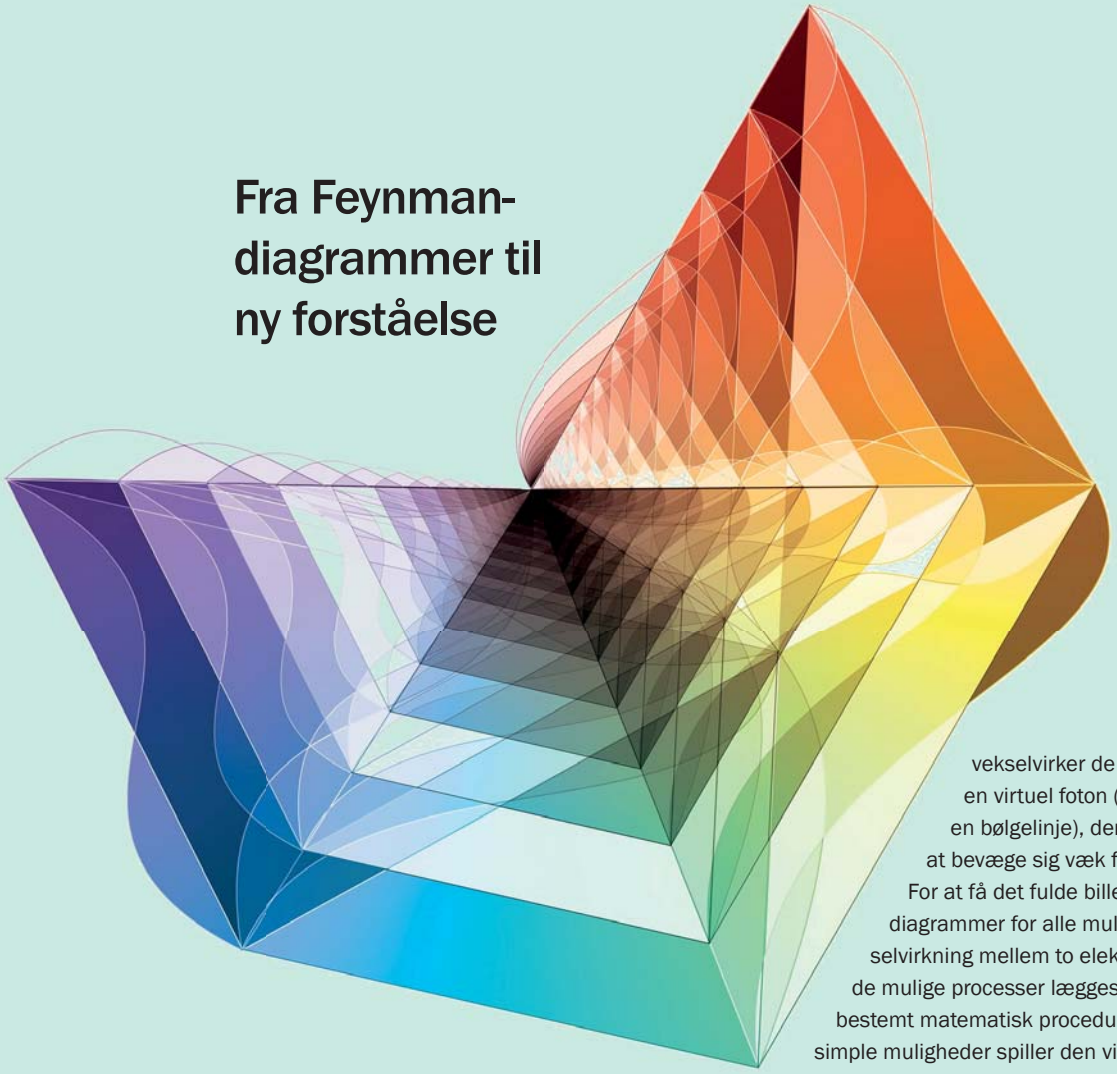
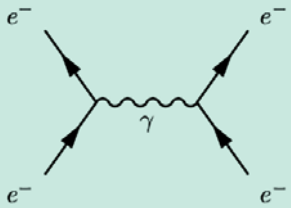


Illustration af et nyt matematisk objekt, som kaldes et *amplituhedron*.

Naturens mindste byggesten – elementarpartiklerne – og de kræfter, der virker på dem (undtaget tyngdekraften), beskrives i en monumental teoretisk konstruktion kaldet "Standardmodellen". Historisk set har et helt afgørende værktøj til at etablere denne teori været såkaldte Feynman-diagrammer. De er en simpel måde at visualisere de mulige udfald af en given vekselvirkning, som fysikeren Richard Feynman foreslog i 1949. Siden 1930'erne havde fysikere forsøgt at regne på såkaldte spredningsamplituder, som er de relative sandsynligheder for de mulige udfald af en given vekselvirkning – for eksempel mellem to elektroner. Men disse beregninger viste sig overvældende vanskelige. Feynmans gennembrud var en intuitiv måde at tackle beregningerne på ved at visualisere de mulige udfald af en given vekselvirkning med simple pile og bølgelinjer.

Eksempelvis er den mest sandsynlige vekselvirkning mellem to elektroner, at de frastøder hinanden. I et Feynman-diagram tegnes denne situation som to streger, der nærmer sig hinanden – men før de mødes, vekselvirker de ved at udveksle en virtuel foton (som tegnes som en bølgelinje), der får de to linjer til at bevæge sig væk fra hinanden igen. For at få det fulde billede må man tegne diagrammer for alle mulige udfald af en vekselvirkning mellem to elektroner. Bidragene for de mulige processer lægges så sammen efter en bestemt matematisk procedure, sådan at de mest simple muligheder spiller den vigtigste rolle.



Feynman-diagram for to elektroner, der frastøder hinanden.

Problemet med Feynman-diagrammerne er, at beregningerne hurtigt bliver overvældende, når man regner på teorier, der involverer de stærke kernekræfter – det vil sige vekselvirkninger mellem kvarker og gluoner i atomkernerne. Det var det problem, som fysikerne Parke og Taylor (omtalt i hovedteksten), i 1985 fandt en vej ud af, ved først at udregne spredningsamplituden for en vekselvirkning mellem 6 gluoner (2 ind og 4 ud) på den hårde måde og derefter udlede en generel formel på en enkelt linje, der kunne udregne nøjagtig det samme.

En væsentlig grund til, at Feyman-diagrammerne kom til kort var, at de opererer med virtuelle partikler, som vi ingen muligheder har for at observere, men som kræver en hel masse matematik at holde rede på. I 2005 lykkedes det fysikerne Britto, Cachazo, Feng og Witten at udregne spredningsamplituder uden brug af virtuelle partikler, og i den proces udledte de Parke og Taylors formel.

Siden har Nima Arkani-Hameds gruppe ved Institute of Advanced Studies i New Jersey, som Jacob Bourjaily som studerende var en del af, yderligere vist, at de spredningsamplituder, som Britto og kolleger udregnede, svarer til volumenet af et nyt matematisk objekt, som de kalder et amplituhedron. Kort fortalt betyder det, at man kan få de samme svar ved at udregne volumenet af et enkelt geometrisk objekt som ved at udregne tusinder af Feynman-diagrammer.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

de publicerede videnskabeligt. Så komplicerede er beregningerne inden for kvantefeltteori.

Historisk har der dog været afgørende matematiske gennembrud, som har gjort det umulige muligt og dermed åbnet døren for ny indsigt i naturens mest fundamentale vekselvirkninger – den mellem naturens mindste bestanddele. Tilbage i 1985 lykkedes det også Parke og Taylor nogle måneder senere at skære deres otte sider lange matematiske formel ned til et simpelt regnestykke på en enkelt linje, som med ganske få tal kunne beskrive det samme som den lange formel. Ikke nok med det, formlen virkede i princippet for vekselvirkninger mellem et vilkårligt antal gluoner og ikke kun seks (to ind og fire ud). Den korte formel ville dog ikke kunne verificeres, hvis ikke forskerne havde lavet benarbejdet med den lange formel først.

»En vigtig pointe er, at Parke og Taylor kunne tjekke, at deres gæt på en simplere formel gav det rigtige resultat, fordi de først havde udført beregningerne på den hårde måde,« siger Jacob Bourjaily, der netop arbejder med den form for simplificering af kvantefeltteoriens komplekse matematiske værktøjer. Mere specifikt arbejder han i sit nuværende forskningsprojekt med at undersøge, om standardværktøjerne fra kvantefeltteorien kan reproduceres udelukkende ved at benytte funktioner, der er kommet til veje på baggrund af observerbare data og ikke teoretiske data. De steder, hvor det indtil videre har været muligt at gøre sådan, har det ledt til dramatiske forbedringer i forhold til at forudsige udfaldet af eksperimenter og til fundamentale forståelsesændringer inden for både fysikken og matematikken.

Simplificeringen af kvantefeltteorien lader vente på sig

På trods af gennembruddene i forhold til at gøre kvantefeltteoriens matematiske formler og regler ”smukkere”, som Dirac ville have sagt det, er fremskridtene dog til tider træge, og i dag undervises studerende i kvantefeltteori på en måde, der ikke adskiller sig nævneværdigt fra undervisningen i 1970’erne og 80’erne. Det er stadig møgsvært, selvom det måske ikke behøver at være det.

»Kvantefeltteori er meget teknisk krævende og svært, og det betyder, at vi skal igennem en utrolig mængde arbejde for at komme fra teori til forudsigelse af et eksperiment – hvad enten det er et tankeeksperiment eller et virkeligt eksperiment. Ikke desto mindre er de forudsigelser, vi når frem til, faktisk meget simple,« fortæller Jacob Bourjaily.

Da kvantefeltteori lettest beskrives med eksempler, tager vi lige et mere af slagsen.

I 1965 fik fysikerne Richard Feynman, Julian Schwinger og Sinitiro Tomonaga Nobelprisen i fysik for at forudsige forholdet mellem elektronens magnetiske og angulære moment (det kaldes for elektronens gyromagnetiske ratio).

Inden for kvantefeltteorien vil man i dag klassificere en del af det nobelpris-vindende regnestykke som et relativt simpelt problem, der tager studerende i kvantefeltteori en uges tid at løse med algebra i hånden. Og så er det også et sjovt et af slagsen.

»Efter problemet er løst, skal det matematiske udtryk fodres ind i en computer, og det vil computeren ofte ikke, så udtrykket skal forsimples, og det tager en eftermiddag mere, før computeren forstår det. Ud af alle disse anstrengelser får man til sidst tallet 1. Man kan næsten ikke undgå at blive flov,« griner Jacob Bourjaily.

Beregningerne skal kunne være på bagsiden af en serviet

Alt det arbejde for at komme frem til tallet 1. Ja, man tænker da, at det må kunne gøres lettere, og det kan det også. Det har Jacob Bourjailys forskning blandt andet været med til at sørge for.

»Min forskning handler simpelthen om at reformulere det fundament, som kvantefeltteori hviler på, så vi kan komme fra teori til forudsigelse uden at skulle gennem så frygtelig meget arbejde,« forklarer Jacob Bourjaily.

Han understreger, at det ikke handler om at nå frem til andre og bedre forudsigelser. Forudsigelsen af tallet 1 i eksemplet passer jo perfekt med virkelige eksperimenter, så det er jo det korrekte svar. Det er i stedet måden, hvormed vi kommer frem til det korrekte svar på, der virker unødvendig bøvlet. Tænk, hvis det tog en otte sider lang formular og en supercomputer at lægge tallene på bonen fra Netto sammen. Her er det godt, at den del af algebraen er simpel.

Jacob Bourjaily tror på, at en sådan forsimplingsproces af kvantefeltteorien kan gøre os klogere på de fundamentale fænomener i naturen, selvom hans forskning ikke handler om at opdage ny fysik, eksempelvis hvad mørkt stof består af.

»Jeg tror, at når vi opdager, at en uges algebra kan reduceres til en hurtig beregning på en serviet, så afspejler det, at vi er kommet tættere på at forstå en dybere sandhed,« siger han. »Når vi fysikere gang på gang bliver overraskede over, hvor simple forudsigelser der kommer ud af vores heroiske beregninger, tyder det jo på, at vi ikke har forstået de underliggende teorier godt nok.«

Laver vanvittigt kompliceret beregning

Jacob Bourjaily har selv brugt masser af tid på at beregne ting, der er svære at beregne. Det har han gjort for at generere data, der kan gøre os klogere.

»Man kan tænke på det som eksperimentelle data, selvom det ikke er eksperimenter i den forstand, vi normalt tænker,« siger han. »Vi prøver ikke kun at lave forudsigelser af virkelige eksperimenter, men vi prøver også at gå til grænsen af vores beregningsmæssige muligheder for

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Videre læsning
Artiklen bygger på et interveiw med Jacob Bourjaily.

Faglige artikler:
New Representations of the Perturbative S Matrix. Christian Baadsgaard, N. E. J. Bjerrum-Bohr, Jacob L. Bourjaily, Simon Caron-Huot, Poul H. Damgaard, and Bo Feng. Phys. Rev. Lett. 116, 061601

Perturbation Theory at Eight Loops: Novel Structures and the Breakdown of Manifest Conformality in N=4 Supersymmetric Yang-Mills Theory. Jacob L. Bourjaily, Paul Heslop, and Vuong-Viet Tran Phys. Rev. Lett. 116, 191602.

Amplitudes and correlators to ten loops using simple, graphical bootstraps. Bourjaily, J.L., Heslop, P. & Tran, VV. J. High Energ. Phys. (2016) 2016: 125. https://doi.org/10.1007/JHEP11(2016)125

Prescriptive unitarity. Bourjaily, J.L., Herrmann, E. & Trnka, J. J. High Energ. Phys. (2017) 2017: 59. https://doi.org/10.1007/JHEP06(2017)059

Fra felter til kvantefelter

Når man i fysikken taler om et "felt", betegner det et område i rummet, hvor hver partikel er påvirket af en kraft. Det kan eksempelvis være tyngdefelter eller elektromagnetiske felter, som påvirker partiklerne. I feltteorier påvirker fysiske fænomener hinanden gennem kun den umiddelbare nabovirkning mellem felterne, og denne virkning kan herefter forplante sig videre til andre felter. Feltteorien står således i modsætning til eksempelvis Newtons forestilling om en tyngdekraft, der virker øjeblikkelig over store afstande og ikke gennem felternes nabovirkninger. I Einsteins relativitetsteori er denne forestilling om en langtrækkende tyngdekraft dog erstattet af en formulering baseret på tyngdefelter.

Kvantefeltteori er en udvidelse af kvantemekanikken fra punktformede partikler til felter. Det er nødvendigt med en sådan teori, fordi den almindelige kvantemekanik ikke kan forklare dannelsen eller ødelæggelsen af elementarpartikler, sådan som det kan observeres. Kvantemekanikken er desuden ikke kompatibel med Einsteins specielle relativitetsteori. Kvantefeltteori er på den måde et nødvendigt matematisk værktøj for at kunne beskrive stoffer og deres vekselvirkninger på en måde, der både er i overensstemmelse med kvantemekanikken og den specielle relativitetsteori. Forskere har derudover den antagelse, at kvantemekanik er underliggende for alle fysiske fænomener, og derfor bør klassisk feltteori også have en pendant i kvantemekanikken – kvantefeltteorien. Eksempler på kvantefelter, der har fået et kvantemekanisk twist, er elektrodynamik – kvanteeletrodynamik, kromodynamik – kvantekromodynamik eller den elektrosvage teori – kvanteelektrosvage teori.

Den simpleste og mest praktiske af kvantefeltteorierne er kvanteelektromagnetisme. I den eksisterer der to felter: Det elektromagnetiske felt og elektronfeltet. Disse to felter interagerer hele tiden med hinanden, hvorved energi bliver overført mellem dem, og exiteringer bliver skabt og ødelagt. Lad os som eksempel forestille os en elektron, der drejer rundt om en foton. Inden for kvanteelektromagnetisme er denne forestilling af to partikler erstattet af specifikke vekselvirkninger mellem det elektromagnetiske felt og elektronfeltet. Heri mister det elektromagnetiske felt én exiteret kvant, og elektronfeltet får dens energi. Kvantefelter interagerer altså ikke med stof. De er stof, og det, som vi ser som partikler, er i virkeligheden exiteringer af kvanter i sig selv.

at studere, hvilke former forudsigelserne har.«

Han nævner igen eksemplet med tallet 1, som det tager studerende en uge at nå frem til. Denne beregning er faktisk kun den første korrektion ud af en uendelig række kvantemekaniske korrektioner til klassisk fysik, hvilket vil sige, at tallet faktisk ikke er 1, men virkelig tæt på at være 1. Beregningerne betyder mindre og mindre for hver korrektion, men i takt med at eksperimentalfysikerne bliver bedre og bedre til at lave præcise målinger, bliver mere præcise forudsigelser også nødvendige.

»For at sætte den beregningsmæssige opgave af "1" i perspektiv, så tog det 10 år at regne sig frem til den anden korrektion, og den næste igen tog 30 år,« siger Jacob Bourjaily.

Man kalder disse korrektioner for "loop orders", og i projektet, der er støttet af Danmarks Frie Forskningsfond, er det blandt andet lykkedes Jacob Bourjaily og kolleger at sætte en markant beregningsrekord for antallet af korrektioner for nogen teori i fire dimensioner (det vil sige teorier med 3 rumlige dimensioner og en tidslig).

»Det var en slags legetøjsmodel af et eksperiment, men det lykkedes os at komme helt op på at beregne 10 loop-orders. Jeg mener ikke at have set nogen beregninger komme over 3 for den klasse af teorier. Hvis vi blot havde slået op i lærebogen og gået frem efter den, ville der have været lige så mange led i ligningen, som der var atomer i den computer, vi forsøgte at regne det ud på,« fortæller Jacob Bourjaily.

Vil være med til at skrive fremtidens tekstbøger

Ifølge Jacob Bourjaily er der en masse smuk matematik associeret med formen af disse forudsigelser, som har ledt til samarbejde med matematikere inden for både grafteori, kombinatorik og algebraisk geometri.

»Vi presser alle vores mest sofistikerede og kraftfulde redskaber for at lave nye forudsigelser, som vi ikke havde adgang til før, og ved at gøre det, styrker vi vores redskaber, fordi vi bliver bedre til at lave forudsigelser. Men vi opdager også nye egenskaber ved forudsigelserne selv, som tillader os at kortslutte det hele og gætte endnu længere. At beregne noget, ingen har gjort før, er på mange måder det samme som teoretiske data, som folk kan stirre på og lære af,« siger han.

Forskeren drømmer om, at hans arbejde vil være med til at skrive fremtidens tekstbøger inden for kvantefeltteori. De fysiske love bliver raffineret langsomt. Vi underviser stadig i Newtons love, selvom de er fyldt med huller. Det samme gælder kvantefeltteori, der heller ikke er perfekt endnu.

»Det er sjældent, at et forskningsfelt med så fundamental betydning er så overflødigt. Min generation af fysikere vil lave de opdagelser, som vil være med til at skrive det næste århundredes tekstbøger,« siger Jacob Bourjaily. ■

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

AALBORG UNIVERSITET

MAKE IT REAL

Mere end 40 procent af verdens befolkning lever med vandmangel.
Med en science-uddannelse lærer du at forstå, hvordan mennesket, jorden og naturen hænger sammen. Med denne viden kan du gøre en forskel og forandre – både dig selv og verden omkring dig.
Science-uddannelserne på AAU dækker over mere end 20 forskellige uddannelser inden for fx matematik, fysik, kemi, sundhed, IT og teknologi. Du kan læse både i Aalborg og København.

LÆS MERE PÅ SCIENCE.AAU.DK

FAKTA I 2015 vedtog verdens lande med FN's 17 verdensmål en ambitiøs udviklingsdagsorden, som frem til 2030 sætter kurs mod en mere bæredygtig udvikling for både mennesker og natur. Mål nr. 6 handler bl.a. om universel adgang til sikkert og billigt drikkevand til alle.

TERMO-DYNAMIKKENS FJERDE HOVEDLOV

Eksperimenter går ikke altid, som man regner med. Ting går galt, og man får mærkelige resultater - men hvad betyder det for videnskabens metode?

Forfatterne

Mikkel Willum Johansen er lektor ved Sektionen for Videnskabsteori og Videnskabshistorie ved Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet. Hans forskning og undervisning ligger inden for videnskabsteori og etik med særligt fokus på matematikkens videnskabsteori.
mwj@ind.ku.dk

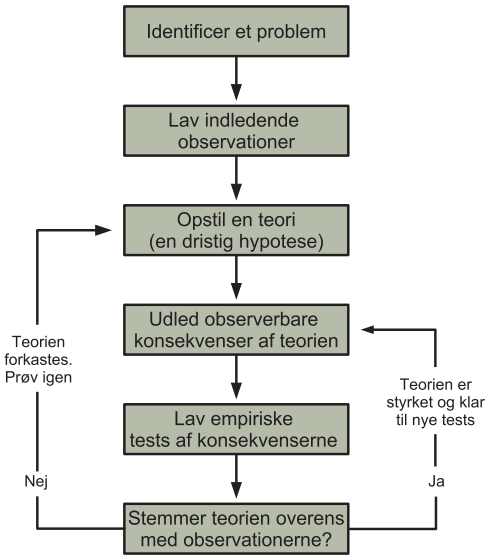
Henrik Kragh Sørensen er professor MSO samme sted. Hans forskning ligger inden for matematikkens og datalogiens videnskabshistorie og videnskabsteori.
henrik.kragh@ind.ku.dk

Hvis en lærebog i fysik indeholder et afsnit om metode, får man typisk beskrevet en variant af den såkaldt "hypotetisk-deduktive metode". Metoden siger i korte træk, at man starter den videnskabelige proces med at opstille en dristig hypotese eller teori. Herefter udleder man observerbare konsekvenser af hypotesen; dvs. man undersøger hvilke forudsigelser om den virkelige verden, der logisk følger af hypotesen. Og endelig tester man disse forudsigelser ved at lave observationer eller eksperimenter. Hvis ens observationer stemmer overens med hypotesens forudsigelser, er hypotesen blevet bestyrket; og hvis de ikke gør, må man forkaste eller justere hypotesen og starte forfra.

Metoden har igennem det 20. århundrede vundet genklang i store dele af naturvidenskaberne, og det er ikke usædvanligt at se den beskrevet som *den* videnskabelige metode. Vi vil dog her gå lidt mere i dybden og se på, hvad der sker, når observationer og eksperimenter *ikke* går som planlagt.

De sultne astronomer

I 1998 begyndte man med jævne mellemrum at opfange et mystisk signal på radioteleskopet ved Parkes Observatory i Australien. Radioteleskopet søger efter signaler fra rummet, men astronomerne havde på fornemmelsen, at det mystiske signal ikke kom fra himlen over os, men snarere fra et sted her på Jorden. Blandt andet forekom signalet kun i den normale arbejdstid, og det kunne jo tyde på, at signalet stammede fra en eller anden form for udstyr, der blev brugt i en arbejdssammenhæng. Nærmere kunne man dog ikke komme det.



Først i 2015, hvor en nysgerrig ph.d.-studerende tog sagen op, fandt man kilden til signalet. Det viste sig, at mikrobølgeovnen i observatoriets køkken udsendte et kort og kraftigt glimt af mikrobølger, hvis man åbnede lågen, mens ovnen stadig kørte. Man havde faktisk omhyggeligt taget højde for mikrobølgeovnen i forsøgsprotokollen, idet det ikke var tilladt at bruge ovnen, når man scannede himmelrummet efter radiobølger af den frekvens, ovnen brugte. Men det viste sig, at de bølger, som ovnen udsendte, når man åbnede lågen for tidligt, af uvisse grunde var af en lavere frekvens end de, den normalt kørte med.

Termodynamikkens fjerde hovedlov

Historien om de sultne astronomer, der ikke kunne vente til mikrobølgeovnen var færdig med at varme deres mad, viser lidt om, hvor svært det kan være at lave observationer og eksperimenter. Det er selvfølgelig en hel del teknisk

Parkes Observatory i Australien. Her fandt man I 2015 ud af, at en mikrobølgeovn i køkkenet var årsag til signaler, som havde forstyrret visse målinger siden 1998. Foto: David McClenaghan, CSIRO/ CC BY 3.0.

besvær: Forsøgsopstillinger og måleapparatur skal sættes op, data skal indsamles, og man skal føre en omhyggelig protokol. Men det er ikke det, vi tænker på her. Her vil vi se på det mere principielle problem, der består i at afgøre, hvilke data man kan stole på, og hvilke man ikke kan.

Ifølge den amerikanske matematiker og videnskabsteoretiker Jerome Ravetz lyder termodynamikkens fjerde hovedlov: Eksperimenter går altid galt første gang. Det er selvfølgelig en vittighed, men alle, der har sat deres ben i et laboratorium, ved, at forsøg indimellem kikser, at observationsudstyr kan opføre sig mærkeligt, og at ting i det hele taget kan gå galt på alle mulige måder. Men hvordan afgør man, om et forsøg er lykkedes eller ej?

Hvis man er gymnasieelev eller på anden vis er under uddannelse, er problemet ikke så stort: Hvis ens observationer eller forsøgsresultater stemmer overens med den accepterede teori, er resultatet korrekt, og hvis ikke, må forsøget på en eller anden måde være gået galt. Når man bedriver frontforskning er svaret imidlertid ikke helt så enkelt, og problematikken udgør en væsentlig og principiel forskel mellem den oplevelse, en gymnasieelev og en forsker har, når de befinder sig i laboratoriet. Når man bedriver frontforskning tester man jo i et vist omfang etablerede teorier, og måske har man slet ikke nogen teori at støtte sig op af. Og hvad gør man så? Sæt nu man får et resultat, der er i modstrid med en kendt teori eller på anden måder virker mærkeligt; skal man så gå ud og sige det, og dermed risikere at blive til grin, hvis der senere viser sig at være en fejl i ens forsøg, eller skal man i stilhed se bort fra det overraskende resultat?

Hurtigere end lyset

Uanset hvad man gør, kan det få alvorlige konsekvenser for ens videnskabelige karriere. I september 2011 offentliggjorde forskere fra det såkaldte OPERA-eksperiment på CERN således, at de havde målt sub-atomare partikler (neutrinoer), der bevægede sig hurtigere end lyset. Da resultatet er i modstrid med Einsteins relativitetsteori, skabte det en del røre, og forskerne bad eksplicit andre om at gennemgå deres eksperiment kritisk, da de selv havde svært ved at tro på deres resultat. Året efter fandt man da også ud af, at der havde

Eksperimenters onde cirkel

Videnskabssociologerne Harry Collins og Trevor Pinch introducerede i bogen *The Golem* begrebet *experiment's regress* til at beskrive den situation, frontforskere står i, når de laver eksperimenter og observationer. Hvis man får et overraskende resultat som neutrioner med overlyshastighed, hvordan kan man så vide, om resultatet skyldes fejl i eksperimentet eller at neutrinoer faktisk kan antage overlyshastighed? Det er klart, at viden om neutrinoers mulige hastighed ikke kan afgøre sagen, da det jo netop er det, vi er i færd med at undersøge. For at vide, om et eksperiment er gået godt, er vi nødt til at vide, om eksperimentet har givet det rigtige resultatet. Men for at vide, hvad der rigtige resultat er, er vi nødt til at have eksperimenter, der er gået godt, og så videre. Det er en form for ond cirkel. Cirklen kan brydes, hvis man finder fejl i eksperimentet, men hvor længe skal man lede efter fejlkilder, før man kan være sikker på, at der ikke er nogen?

OPERA-detektoren under Gran Sasso i Italien, hvor forskere i 2011 målte neutrinoer, der tilsyneladende bevægede sig hurtigere end lyset. Der viste sig dog, at være fejl ved eksperimentet.
Foto: Randal Schwartz/ CC BY-SA 2.0.

været fejl i deres eksperiment: Et kabel var ikke tilsluttet rigtigt, og et ur gik forkert, og derfor havde de fået det overraskende resultat. På mange måder havde gruppen opført sig helt i overensstemmelse med god videnskabelig praksis. De havde rapporteret et overraskende resultat og omhyggeligt gjort opmærksom på, at de selv tvivlede på det. Alligevel førte episoden til så megen mistillid i gruppen, at to af de ledende forskere måtte trække sig fra deres poster. De havde holdt på den forkerte hest, og den slags har konsekvenser.

Tvivlsom praksis

Hvis man omvendt vælger at se bort fra et resultat, risikerer man at gå glip af en vigtig opdagelse og muligheden for at blive klogere: Hvis neutrinoerne i OPERA-eksperimentet faktisk *havde* bevæget sig end lyset, ville målingen have ændret vores grundlæggende forståelse af fysikken. Desuden handler man strengt taget videnskabeligt uredeligt, hvis man sletter eller ser bort fra et resultat, idet man ikke uoplyst må manipulere sine data. Hvis man tror, der er en fejl i et resultat, bør man derfor søge at identificere fejlkilden, inden man forkaster det. Men som historien om mikrobølgeovnen på Parkes' radioteleskop illustrerer, kan det være svært og tidskrævende at finde den specifikke fejlkilde.

I praksis er det at se bort fra data, der virker forkerte, havnet i en gråzone, videnskabsteoretikere har døbt "tvivlsom videnskabelig praksis". I en stort anlagt spørgeskemaundersøgelse blandt mere end 3.000 amerikanske forskere vedkendte mere end 15 %, at de havde fjernet data fra deres analyser udelukkende ud fra en mavefornemmelse af, at der var noget galt med forsøget. Der er også gode historiske eksempler på, at videnskabelige gennembrud er opnået, netop fordi forskere havde en veludviklet mavefornemmelse for, hvornår et forsøg var gået godt, og hvornår det ikke var. Så hvad enten man kan lide det eller ej, er data i praksis ikke nær så objektive og hypotesetest ikke nær så definitive, som lærebøgerne giver udtryk for.

Reproducerbarhed

Der er heller ikke altid enighed om, hvornår et forsøg eller en observation må regnes for fejlagtigt. I fysik og andre eksperimentelle videnskaber kræver man typisk, at et eksperiment skal kunne reproduceres, før man for alvor kan stole på et resultat: Det vil sige, at for at det videnskabelige samfund skal acceptere et resultat, skal andre forskere være i stand til at få samme resultat, når de laver det samme forsøg eller observation.

Da det overraskende resultat om overlyshastighed blev offentliggjort af den europæiske forskergruppe, gav et hold amerikanske forskere sig således straks i færd med at gentage OPERA-eksperimentet. Den amerikanske gruppe kunne imidlertid ikke få det samme resultat som europæerne, men da fejlkilden i OPERA-eksperimentet blevet fundet, inden de amerikanske resultater kom ind, opstod der ingen konflikt: Alle var uden videre enige om, at der var en fejl i de europæiske forsøg.

I andre tilfælde er det imidlertid ikke så klart, hvem der har ret, og hvem der tager fejl. Videnskabshistorien er fyldt med bitre stridigheder mellem forskere (eller forskergrupper), der har lavet de samme forsøg men fået forskellige resultater ud af det, og i dag er de empiriske videnskaber ramt af en decideret "reproducibilitetskrise", i den forstand at rigtig mange forskningsresultater har vist sig overraskende svære at efterprøve, ved at et forskerhold gentager et andet forskerholds eksperiment eller observation og får samme resultat. Krisen ramte først – og hårdest – i den såkaldte adfærdspsykologi, der er en eksperiment-dreven gren af psykologien, men den har også ramt andre grene af videnskaben, selv hårde discipliner som kemi og fysik. I en spørgeskemaundersøgelse, som tidsskriftet *Nature* foretog i 2016, var fysikere og kemikere ganske vist dem, der havde mest tiltro til, at resultaterne inden for deres discipliner kunne reproduceres, men knap 80 % af fysikerne og 90 % af kemikerne havde selv uden succes prøvet at reproducere et eksperiment.

Det behøver ikke nødvendigvis betyde, at kvaliteten af de oprinde-

lige eksperimenter var dårlig. Det er selvfølgelig forklaringen i visse tilfælde, men en del af den manglende reproducerbarhed kan også skyldes termodynamikkens fjerde hovedlov: Måske gik der bare noget galt for de forskere, der skulle gentage forsøgene – og interessant nok var det kun forholdsvist få gange, at forskerne forsøgte at publicere et fejlslagent forsøg på at reproducere et eksperiment.

Kunsten at reproducere

En anden del af problemet består i, at det ikke er helt klart, hvad man skal forstå med "det samme forsøg". Den amerikanske gruppe, der forsøgte at reproducere OPERA-eksperimentet havde lignende, men ikke identisk udstyr, og når fysikerne mente, at de to forsøg var ens, var det under den teoretisk funderede forudsætning, at forskellene på de to eksperimenter, ikke havde nogen betydning for det, man målte på. I store eksperimenter (og i det ekstreme tilfælde med CERN) lader det sig simpelthen ikke gøre at opstille den samme forsøgsopstilling uden omfattende idealiserende antagelser.

Ingen forsøgsopstillinger eller observationsapparater er altså helt identiske. Man kan prøve at gøre tingene så ens som muligt, men der vil altid være små forskelle, hvis betydning, man måske ikke forstår – et radioteleskop med en mikrobølgeovn i køkkenet opfører sig for eksempel under nogle omstændigheder anderledes end ét uden, og hvem skulle have troet det? Ud fra disse betragtninger er det da heller ikke helt overraskende, at reproducerbarhedskrisen ramte hårdest i adfærdspsykologien: Da det er et forholdsvist ungt videnskabeligt felt, har man ikke lige så godt styr på de myriader af faktorer, der kan påvirke et eksperiment, som man har i andre felter (og tilsyneladende havde den tidlige adfærdspsykologi endvidere en lidt for lempelig omgang med statistiske metoder).

Når man reproducerer forsøg, gør man det da heller ikke kun for at tjekke, om et resultat holder, men i lige så høj grad for at undersøge og præcisere de omstændigheder, der skal til, for at en bestemt effekt opstår og på den måde indpasse eksperiment og resultat i det netværk, som videnskabelige teorier udgør.

Observationers usikkerhed

Hvis vi vender tilbage til den hypotetisk-deduktive metode, er det slående, at metoden betragter observationer og eksperimenter som helt uproblematiske: Hvis en empirisk test siger, vi skal forkaste en hypotese, så skal vi forkaste den; og hvis en test er i overensstemmelse med hypotesen, er alt godt.

Som vi har set, stemmer den del af metoden dog dårligt overens med praksis. Observationer og eksperimenter kan gå (og går) galt på utallige måder, og termodynamikkens fjerde hovedlov kan til enhver tid slå til. Tidligere betvivlede man især den menneskelige faktor i betjening af eksperimenter og registrering af data, og man søgte at eliminere den ved udførlige protokoller og statistisk behandling. Men mere principielt kan der være fejl i apparaturet (som OPERA-eksperimentets defekte ur), og målinger kan altid være påvirket af ukendte faktorer (som Parkes Observatoriets mikrobølgeovn). Når en observation eller et eksperiment ikke stemmer overens med en hypotese, er der derfor altid to muligheder: Enten må man forkaste hypotesen, som den hypotetisk-deduktive metoder foreskriver, eller også må man forkaste eksperimentet eller observationen, og finde ud af, hvad der er gået galt. Og der findes ikke nogen opskrift eller simpel metode til at træffe det valg.

Fordi der ikke findes nogen alment gyldig måde at træffe denne beslutning, kommer ikke-videnskabelige faktorer som centrale eksperters mavefornemmelse og den enkelte forskers status og anseelse til at udgøre det grundlag, det videnskabelige samfund vælger ud fra. I hvert fald på den korte bane. For på længere sigt vil nye eksperimenter jo kunne udjævne lokale fejlagtige valg – hvis de nye eksperimenter ellers bliver udført. Og heri ligger reproducibilitetskrisens måske største udfordring: Termodynamikkens fjerde lov siger måske, at eksperimenter altid går galt første gang, men så kan vi jo bare gentage dem, ikke sandt? Men nogle eksperimenter er for dyre at gentage, andre gange er skaden allerede sket i form af, at resultatet har "forurenet" litteraturen, og med videnskabens eksplosive vækst har vi simpelthen ikke ressourcer og interesse i at efterprøve *alle* eksperimentelle påstande. Så hvordan vi vælger at reagere på termodynamikkens fjerde lov forbliver et ekstravidenskabeligt spørgsmål. ■

Underbestemthedstesen

Underbestemthedstesen siger, at al vores viden, inklusive vores videnskabelige viden, er organiseret i et sammenhængende netværk af formodninger. Nogle af formodningerne handler om ting, vi direkte kan observere; men langt de fleste udgøres af teorier og hypoteser, der generaliserer og systematiserer vores observationer. Vores observationer udgør dermed en form for randbetingelse for vores netværk af formodninger, mens det indre af netværket – herunder vores videnskabelige teorier – er underbestemt af randbetingelserne i den forstand, at observationer ikke entydigt kan afgøre hvilke teorier, vi skal have. Der kan være flere forskellige teorier, der forklarer de samme observationer, og tilsvarende kan en enkelt observation ikke forkaste en bestemt teori, idet man altid vil kunne redde teorien ved at lave ændringer andre steder i sit netværk af formodninger.

Videre læsning

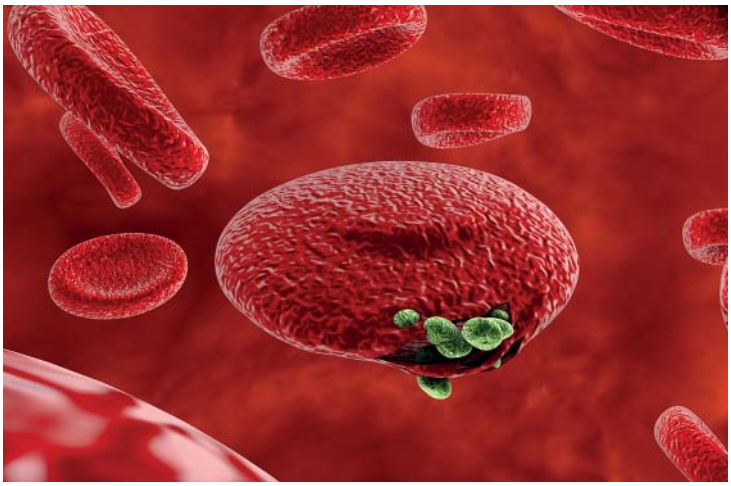
Collins, H., & Pinch, Trevor, Trevor J. (1998). *The golem. What you should know about science* (2. ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Waller, J. (2002). *Fabulous science, fact and fiction in the history of scientific discovery.* Oxford: Oxford University Press.

Andersen, H., Emmeche, C., Norup, M., & Sandøe, P. (2007). *Videnskabsteori for de biologiske fag.* Frederiksberg: Biofolia.

Kræft og malariaprotein

Hvordan kan malaria hjælpe kræftpatienter? Det virker måske ikke ligefrem intuitivt, men et nyt studie viser, at man kan fange kræftceller med et protein, som produceres af den livstruende malariaparasit. Det er forskere fra Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet, der står bag studiet, som viser en lovende metode til at detektere forskellige kræfttyper ved brug af en simpel blodprøve.



Malaria er normalt en frygtet sygdom – her illustreres frigivelse af malariaparasitter fra en inficeret rød blodcelle. Men nu kan et malariaprotein måske bruges til at opdage kræft. Illustration: Shutterstock

I dag er det en stor udfordring for læger at opdage og behandle forskellige kræftformer i tide. Det kræver ofte biopsier, som desværre kun giver et lille indblik i tumorens biologi. Derfor har forskere de seneste år arbejdet på at udvikle nye metoder, som kan give et bedre billede af patienternes sygdom og dermed optimere deres behandling. Størst succes har de metoder, der anvender blodprøver som udgangspunkt for at analysere kræfttypen. Her leder man blandt andet efter de kræftceller, som migrerer fra tumoren, og bevæger sig ud i blodet for at sprede sig. Man kalder disse for cirkulerende kræftceller. I det nye studie viser forskerne at det særlige malariaprotein, VAR2CSA, binder sig til overfladestrukturer på de cirkulerende kræftceller. Alt man behøver er derfor blot en blodprøve, og herefter kan man hive kræftcellerne ud ved hjælp af malariaproteinet.

Der er specielt smart fordi metoden ikke er knyttet specifik til en bestemt kræftform, men den kan anvendes til en bred vifte af kræfttyper, hvilket ikke er tilfældet for andre nyere metoder. Ved en simpel tælling af de indfangede kræftceller i blodprøven kan man både sige noget om kræftstadie og endda lave en prognose på baggrund af det. Det betyder også, at man potentielt i fremtiden kan bruge metoden til at screene folk, der er i højrisiko for at udvikle kræft, for så snart man finder kræftceller i blodet, kan man være sikker på, at der findes en tumor et sted i kroppen. Lige nu arbejder forskerne på at forbedre metoden ved at inkludere flere patienter og undersøge endnu flere kræfttyper.

Sara Helm Knudsen. Kilde: DOI: 10.1038/s41467-018-05793-2

LAD INGENIØRSTUDERENDE FRA SDU GIVE FAGLIGE INDSPARK TIL MATEMATIK- OG NATURFAGSUNDERVISNINGEN

Book en ingeniørstuderende og lad dine elever opleve matematik og naturvidenskab i anvendelse. Både oplæg og workshops tager udgangspunkt i fag og projekter fra de ingeniørstuderendes egne uddannelser. Prøv fx:

VILD MED VIND: En workshop om, hvilken rolle vindenergi kan spille i kampen for at nå målet om et fossilfrit samfund i 2050. Lær om de grundlæggende fysiske og tekniske teorier bag teknologien, der omdanner blæsten i træerne til strøm i stikkontakten.

MATEMATIK I ROBOTTER: En workshop, der giver eleverne indsigt i den matematik, der ligger bag styringen af en robotarm. Eleverne vil få udleveret små programmerbare robotarme, som kan demonstrere, hvordan styringen fungerer i praksis.

DRONE-WORKSHOP: Byg jeres egne droner og test dronernes evne til at flyve. Workshoppen giver et indblik i mekanik, regulering og elektronik. Eleverne vil blive udfordret både teoretisk og praktisk i forsøget på at få dronerne til at flyve.

Se og book alle vores oplæg og workshops på
WWW.SDU.DK/TEK/BROBYGNING

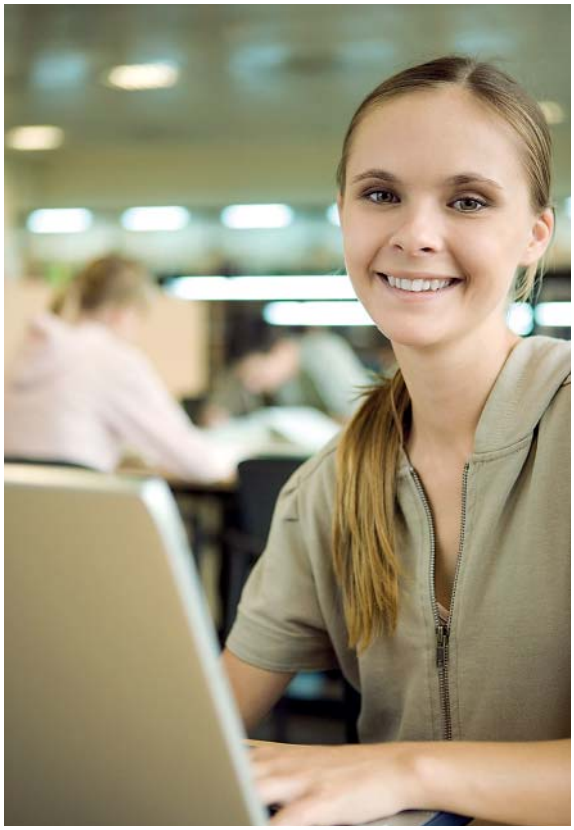
WILLERS-KONKURRENCEN

Til gymnasieelever: Deltag i konkurrence om formidling af SRP-opgaver i videnskabsstudier

Af Kristian H. Nielsen, bestyrelsesformand for Willers Legatet

Willers Legat præmierer de bedste formidlingsartikler af SRP-opgaver, der analyserer naturvidenskabelige og/eller teknologiske problemstillinger i formidlingsmæssigt, historisk eller samfundsfagligt perspektiv

Hvis du skriver SRP-opgave om et emne, hvor du kombinerer naturvidenskab/teknologi (fx fysik, kemi, matematik eller bioteknologi) med humaniora/samfundsvidenskab (fx dansk, historie, sprogfag, idehistorie eller samfundsfag), er Willers-konkurrencen måske noget for dig. Her kan du indsende populærvidenskabelig artikel (maks. 1.500 ord) om din opgave og deltage i konkurrencen om førstepræmien på 2.500 kr., andenpræmien på 1.500 kr. og tredjepræmien på 1.000 kr.



Du kan vinde præmier med din SRP-opgave i Willers-konkurrencen. Foto: Colourbox.

Hvad er videnskabsstudier?

Videnskabsstudier er et selvstændigt akademisk fag, som netop giver mulighed for et sådant samspil. Forskere, der arbejder med videnskabsstudier, kombinerer viden og metoder fra humaniora og samfundsfag til at forstå tværfaglige problemstillinger, som også kræver naturvidenskabelig og/eller teknologisk indsigt. Mange SRP-opgaver er derfor en slags videnskabsstudier.

Et godt eksempel er emnet malaria. Her er det vigtigt at kende til malariaparasittens biologi og bekæmpelsesmidlernes biokemi, men også de historiske og samfundsmæssige problemstillinger, der knytter sig til malaria, og hvordan vi bedst gør noget ved det. Et andet eksempel kan være kontroversen om HPV-vaccinen, hvor biomedicinske problemstillinger bliver blandet med samfunds- og formidlingsmæssige. Et tredje eksempel vedrører matematikhistorie, hvor det er muligt at få et tæt samspil mellem viden og metoder fra henholdsvis historie og matematik, hvis man diskuterer forholdet mellem teoretisk og anvendt matematik i den græske matematiker Herons arbejde.

Dette er blot nogle få eksempler på SRP-opgaver inden for videnskabsstudier. Hvis du er i tvivl om, hvorvidt din opgave kvalificerer som videnskabsstudier, er du velkommen til at kontakte os på nedenstående mail.

Konkurrencen

Hvis du skriver SRP-opgave inden for videnskabsstudier, kan du deltage i Willers-konkurrencen. Du skal skrive en populærvidenskabelig artikel på baggrund af din SRP-opgave og sende den til:

Kristian H. Nielsen, bestyrelsesformand for Willers Legat, email: willers@css.au.dk senest den 1. maj 2019. Anfør navn, skole og den oprindelige fagkombination på din SRP-opgave i mailen.

De indsendte artikler vil blive bedømt af et udvalgt dommerpanel med ekspertise i videnskabsstudier og formidling. Vinderne får direkte besked, og alle tre vinderbidrag vil efter aftale med vinderne blive offentliggjort på Center for Videnskabsstudiers hjemmeside. Vinderen af førstepræmien vil have mulighed for at få sit bidrag trykt i tidsskriftet Aktuel Naturvidenskab.

Din populærvidenskabelige artikel skal være skrevet i henhold til Aktuel Naturvidenskabs skrivevejledning: aktuelnaturvidenskab.dk/om-os/skriv-i-bladet.

Willers-konkurrencen er lavet i et samarbejde mellem Willers Legat, Akademiet for Talentfulde Unge, Aktuel Naturvidenskab, Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet, og Institut for Naturfagenes Didaktik ved Københavns Universitet. Willers Legat er opkaldt efter stifteren Arnold Willers og har til formål at støtte undervisning og forskning ved Center for Videnskabsstudier. ■

SKAL DINE ELEVER LAVE

SRP PÅ AARHUS UNIVERSITET?

Science and Technology
udbyder en række forløb som støtte til SRP
og andre større skriftlige opgaver i naturvidenskabelige fag.

Eleverne kan
arbejde i universitetets laboratorier og få vejledning af forskere.

Dine elever kan blandt andet arbejde med forløb inden for
kvantefysik, kryptologi, bygningskonstruktion og meget mere.

Tilmelding åbner 11. september på scitech.au.dk/SRP.

Foto: Jesper Rais og Lars Kruse, AU Foto

LÆS MERE PÅ **SCITECH.AU.DK/SRP**

AARHUS UNIVERSITET
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Nye undervisningsmaterialer

På hjemmesiden aktuelnaturvidenskab.dk finder du også undervisningsmaterialer.

Arbejdsark og opgaver til emnet *den nære astronomi:* Milankovitch-cykler

Variationer i klimaet på den store skala som istider, der kommer og går, kan kobles til variationer i Jordens bevægelser omkring Solen. Disse naturlige klimavariationer sætter rammen for en forståelse af klimaet i det menneskenære perspektiv.

Med udgangspunkt i artiklen: *Tre cykler, sommer og en istid* er der udarbejdet et forløb på 3-4 moduler á 70 minutter med faget Fysik C/Fysik B som målgruppe.
Materialet er udbejdet af Zelinda Videsen, Viborg Katedralskole.

Undervisningsmateriale til bioteknologi og syntetisk biologi

Forud for læsning af artiklen: *Nyt effektivt værktøj i jagten på naturens værdifulde enzymer* skal man kende til det centrale dogme i biologi samt grundlæggende genteknologiske teknikker som gensplejsning og transformation. Desuden er det nyttigt at vide hvad begrebet *syntetisk biologi* dækker over.
Fag: Biologi A og Bioteknologi A. Udarbejdet af Lone Als Egebo, Hasseris Gymnasium

Undervisningsmateriale til bioteknologi og enzymer

Artiklen *Svampen på toiletbrættet* kan fx læses som optakt til et forløb om bioethanol eller om enzymer. Kræver ingen særlige forudsætninger. Hvis eleverne ikke har dyrket mikroorganismer eller arbejdet med svampe, kan læreren indledningsvis tage en snak med eleverne. Materialet omfatter en vejledning til at fremstille 2. generations bioethanol.
Fag: Biologi B+A og Bioteknologi A. Udarbejdet af Lone Als Egebo, Hasseris Gymnasium

Så er det quiz-tid!

Test din viden i Aktuel Naturvidenskabs quizzer, der bygger på artikler fra bladet. Der er fx kommet quiz-spørgsmål til artiklen: *Varmere klima giver mere iltsvind*, udarbejdet af Signe Klara Hansen og Kim Bruun fra Viborg Gymnasium og HF. Målgruppen er biologi B og A samt Biotek A.

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

ABONNEMENTS-SERVICE

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

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

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: **aktuelnaturvidenskab.dk**

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

Gaveide:

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
- **Mads Bendix Fjendsbo**, rektor, Viborg Gymnasium og HF
- **Mette Christina Møller Andersen**, specialkonsulent, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Sanne Holm Nielsen**, kommunikationsmedarbejder, Aalborg 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
- **Peter Arnborg Videsen**, Viborg Gymnasium og HF
- **Sanne Holm Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Svend Thaning**, Københavns Universitet
- **Torben Jarl Jørgensen**, Roskilde Universitet

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Oplag: 9.400

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, 8000 Aarhus C

Omslagsfoto:
Vandfald – højdeforskellen kan udnyttes.
Foto: Colourbox.

SORTERET MAGASINPOST

POST PP DANMARK

ID-nr. 46144

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

Fossilfri for 150 kr.

Af Birgitte Dalgaard, Det Tekniske Fakultet, SDU, bird@tek.sdu.dk

For det samme som et fitnessabonnement koster, kan vi helt slippe for fossile brændsler. Teknologierne er her, men grøn omstilling kræver politisk handling, konkluderer to nyuddannede ingeniører i deres speciale.

150 kroner om måneden per dansker. Det er prisen for at slippe for luftforurening og CO_2-udslip. Vi kan helt undgå at bruge olie, kul og gas også til fly, skibe og tung trafik.

»Vi snakker som om, det er helt umuligt at slippe af med fossile brændsler. Det er absolut muligt. Teknologien er her, og det koster kun 0,5 procent af vores BNP eller en lille pizza og et Netflixabonnement per dansker om måneden at omstille til grøn energi. Det handler om vilje«.

Anders Winther Mortensen og Kasper Dalgas Rasmussen er nu begge ph.d.-studenrende ved SDU. Foto: SDU.

Det siger den nyuddannede ingeniør i Energiteknologi, Anders Winther Mortensen. Sammen med Kasper Dalgas Rasmussen har de i deres speciale dykket ned i den varmeste ende af klimadebatten.

De peger på beregninger fra Energistyrelsen, som i 2014 estimerede, at det vil koste 10 milliarder kroner årligt eller 0,5 procent af vores BNP at slippe helt for fossile brændsler som olie, kul og gas. Samtidig har forskere fra Aarhus Universitet regnet ud, at de estimerede samfundsomkostninger ved luftforurening i Danmark årligt beløber sig til 28 milliarder kroner.

Teknologien er her

Den største udfordring er at få fly på vingerne og fragtskibe til at sejle grønt, men allerede i dag er det teknisk muligt at lave fly- og skibsbrændstof fra bæredygtige energikilder som biogas og biomasse, pointerer de to ingeniører.

»Vi kan endda lave brændstof baseret på CO_2 fra atmosfæren, som så reageres med hydrogen produceret fra vind- og solstrøm. Denne form for brændstoffer kaldes elektrobrændstoffer og kan ved en Fischer-Tropsch proces, som har været kendt siden 2. Verdenskrig, omformes til flybrændstof, benzin og diesel«, forklarer Kasper Dalgas Rasmussen.

»Der mangler derfor ingen tekniske løsninger for at foretage en grøn omstilling af vores energisystem«.

Kræver politisk handling

De to ingeniører i Energiteknologi undrer sig over, at vi bliver ved med at tale så meget om miljøet samtidig med, at den globale udledning af CO_2 fra fossile brændsler fortsætter med at stige:

»Markedskræfterne redder os ikke. Ifølge vores speciale, bliver fossile kulbrinter aldrig udkonkurreret af bæredygtige kulbrinter, før vi ikke kan hive mere gas, kul eller olie op af jorden. Med det nuværende kulbrinteforbrug sker det først om 1350 år. I forhold til den globale opvarmning har vi kun 18 år«, understreger Anders Winther Mortensen og fortsætter:

»Politikerne skal træffe en beslutning. Det er superfrustrerende, når verdens klogeste klimaeksperter siger, at vi kun har få år at handle i og så vide, at teknologierne er her, men intet sker. Det er håbløst nogle gange«, mener Anders Winther Mortensen.

De er klar over, at Danmarks andel af verdens samlede drivhusgasudledninger er lille, men samtidig peger de på, at det kunne være smukt, hvis Danmark ledte vejen. Var et forbillede, som kunne vise verden, at det med en lille investering kan lade sig gøre at være 100 procent bæredygtig. ■