

Aktuel NATURVIDENSKAB

1 | MARTS 2013

FORSKNING • ERKENDELSE • TEKNOLOGI

Pris kr. 50,00

TEMA: Velfærdsteknologi

BOHRs ATOMTEORI FYLDER 100 ÅR

GRAFIKKORT SÆTTER NEWTON PÅ SPEED

DREVET AF LYSET

Oplysningspligt



Kaj Sand-Jensen, professor ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Biologisk Institut, Københavns Universitet. Formand for Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs "Udvalg for offentlig Formidling". Redaktør af fembindsværket: *Naturen i Danmark*, Gyldendal. ksandjensen@bio.ku.dk

Oh, at være en forsker. Hvilket spændende liv på kanten af den velkendte og den aldeles ukendte verden, som man bare kan vælte sig rundt i. Derefter kan man nøjes med at delagtiggøre sine nærmeste fagfæller i udlandet i sin nye viden, så de med jubelråb kan bekræfte, hvor dygtig man er. Det er næsten for nemt at slippe efter at have nydt alle disse muligheder, som er finansieret af samfundsskatten og succesrige virksomheders overskud på salg af øl, vinduer og medicin.

Jeg mener da også, at forskerens forpligtigelse over for landets borgere rækker langt videre end til alene at publicere engelske afhandlinger. Viden betalt af andre forpligtiger bredt. Landets borgere skal have mulighed for at møde nye opdagelser og erkendelser, så de ikke kun reserveres for de nærmeste fagfæller. Rummer opdagelserne muligheder for fremskridt for natur, miljø, sundhed og teknologi skal disse naturligvis udnyttes. Efter min mening er forskeren også forpligtiget til at ytre sig og korrigere, når fejlagtige påstande benyttes som grundlag for vigtige samfundsmæssige beslutninger.

Når politikere og styrelser lancerer ny forvaltning og politikker med henvisning til viden eller statistiske sammenhænge, er der grund til at være særligt på vagt. "Vidensbaseret" politik er ofte en skrøne, der skal dække over det mere sædvanlige formål: At fremme en bestemt ideologi, snævre økonomiske interesser eller bare vise handlekraft. Der er masser af eksempler på, at fagfolk overhovedet ikke opponerer mod fagligt ubegrundede initiativer eller en åbenlys farlig udvikling. Men der er heldigvis også eksempler på det stik modsatte, at uafhængige forskere offentligt forsøger at korrigere og give en faglig korrekt fremstilling af sammenhængene med fare for at blive udskreget som smagsdommere eller politiserende.

Kloge hoveder på bøjelede nakker

Med forhistorien og eftervirkningerne har verden nu i 10 år stået midt i en national og global finanskris, som skyldes grådighed, svindel, bedrag og moralsk forfald i finanssektoren og medløberi fra politikerne. Denne økonomiske-politiske skandale, som har forkrøblet udsatte borgere og nationer, fik lov til at blomstre uden at uafhængige økonomer reagerede kollektivt og råbte borgerne og politikerne op. Et er, at finanssektorens egne økonomer medvirkede aktivt til, at skandalen rullede, fik frit spil i medierne og stadig har det. Noget andet er, at universiteternes økonomer har haft fingrene dybt nede i klejnekassen, som tilfældet er for amerikanske professorer med millionfede salærer i finanssektorens bestyrelser eller evalueringskomiteer.

Herhjemme har universitetsøkonomer, Det økonomiske Råd og sågar Nationalbanken, så vidt jeg som lægmand kan vurdere aldeles fejlvurderet udviklingen. Som modstykke kan jeg kun fremhæve forhenværende overvismand, professor Christen Sørensen, som vedholdende

har påpeget fejl og risici og endog tilladt sig at kritisere kolleger omkring Det økonomiske Råd og Nationalbanken. Måske har flere økonomer set farerne, men når det store flertal enten har spillet med eller været tavse, kan det skyldes, at den økonomiske videnskab er chokerende svag, at de kollegiale eller forretningsmæssige alliancer er uheldige, eller modet til at ytre sig aldeles har svigtet de indsigtsfulde.

Vær så god: råb!

Natur, miljø og sundhed i forbindelse med landbrugsdrift kalder hele tiden på faglige indlæg som modvægt til alliancen mellem landbruget, Axelborg, visse partier og styrelser. Stopper denne faglige kritik en kort stund, dukker landbrugsbekvemme, men effektløse forslag øjeblikkeligt op såsom at rulle randzonen tilbage og i stedet poste mange penge i virkningsløse initiativer for at løse vandområdenes forurening med muslingefiskeri og nye stenrev i havet.

Med de seneste 10 års øgede fokus på ministerbetjening i styrelserne, er det faglige grundlag blevet yderligere nedprioriteret til fordel for promovning af ministerens synlighed og seneste påfund. Når såvel erhvervsinteresser som ministerier og styrelserne har økonomi til at bestille udredninger med snævre kommissorier (og efterfølgende fælles diskussion af konklusioner) hos universitetsforskere, der skal tjene en stor del af deres egen løn hjem, så taber den uafhængige forskning terræn. Risikoen stiger for, at institutioner med høj troværdighed lægger navn til fagligt yderst tvivlsomme udredninger. Derfor vokser nødvendigheden af, at andre forskere, der har bevaret uafhængigheden, fungerer som et korrektiv, også selv om de må gå i rette med fagkolleger.

Men her er der et problem. Det er helt OK at være uenige med udenlandske forskere i fagartikler, men det er åbenbart ikke OK at være uenige med danske kolleger og langt mindre med folk fra samme institution vedrørende faglige udredninger og rapporter. Det opfattes som ukollegialt eller det, der er værre. Jeg mener imidlertid, at det er bedst, at kritik udfolder sig inden for institutionerne og dermed modvirker, at fejl og uheldig praksis kan florere. Jeg har tidligere opfordret kompetente fagfolk til at reagere på åbenlyst fejlagtige udredninger fra deres eget universitet eller institut, men forgæves. Selvom eller måske netop fordi konklusionerne flugtede med rekvirentens forventede interesser, ønskede man ikke at rejse en faglig debat. Men skaden bliver jo endnu større, når institutionen ikke selv formår at rette op på en uheldig praksis frem for, at det først sker efter eksternt debat og pres.

Jeg slutter med en af døde Rektor Ove Nathans opfordringer ved et årsskifte og eget eksempel til efterfølgelse: brug Jeres faglighed, bland Jer i debatten og bekæmp skadelige magtstrukturer. ■



10

Bohrs atomteori fylder 100 år

Med Niels Bohrs atomteori fra 1913 indledtes et nyt og frugtbart kapitel i fysikhistorien. I denne jubilæumsartikel fortæller Helge Kragh om, hvordan teorien blev til, og hvad den egentlig gik ud på?

28

TEMA:

Velfærdsteknologi

I fire artikler sætter vi fokus på emnet velfærdsteknologi:

Træningsrobotter er fx et lovende redskab til genoptræning af patienter med lammelser. Og ved hjælp af computermodeller og laboratorieforsøg forsøger forskere at afsløre de grundlæggende mekanismer i udviklingen af tryksår.



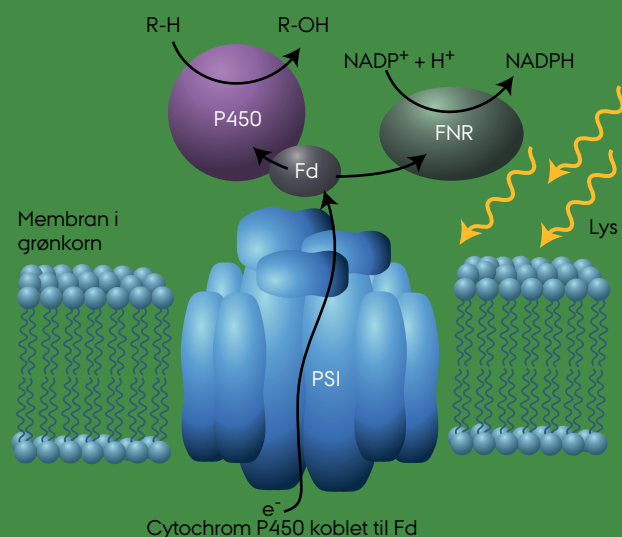
Indhold

FORSKNING OG NYHEDER

Kort nyt.....	4
Drevet af lyset – fotosyntesen på arbejde	7
Bohrs atomteori fylder 100 år.....	10
Bohrs første hit i 1913.....	14
Fosterlivet kan bestemme dit helbred	19
Rejsen under jorden.....	22
Træning, robotter og velfærdsteknologi	28
Stine til kamp mod rygerlunger.....	33
Computermodel med tryksår	34
Når reflekser sætter i gang	38
Grafikkort sætter Newton på speed	43

PERSPEKTIV, DEBAT OG SERVICE

Synspunkt: Oplysningspligt.....	2
Fantasi til at være interdisciplinær.....	46
Boganmeldelse: Meteoritter	49
Service	50
Bagsiden: Når det bliver svært... ..	52



30

Drevet af lyset – fotosyntesen på arbejde

Overskudsenergi fra fotosyntesen kan i princippet omdirigeres til brug i andre reaktioner. Og det kan være vejen til bæredygtig produktion af fx medicin og naturstoffer.

Kæmpestjerne på vej mod støvmur

O Orion, der er et af de mest markante stjernebilleder på nattehimmelen om vinteren og i det tidlige forår, er hjemsted for den klare, lidt rødlig stjerne Betelgeuse.

Med en diameter, der er omkring tusind gange større end Solens, er Betelgeuse en såkaldt rød kæmpestjerne. Ifølge forskerne vil Betelgeuse ende sit liv i en gigantisk eksplosion – en supernova. Når det sker, vil den eksploderende stjerne blive så klar, at den kan ses på himlen om dagen. Der kan dog gå mange tusinde år endnu, inden Betelgeuse bliver til en supernova.

Nye observationer af Betelgeuse viser, at stjernen er på vej mod et sammenstød med en mur af støv, der ligger i rummet mellem stjernebillederne. Forskerne mener, at sammenstødet vil ske om ca. 12.500 år, men allerede

om 5000 år vil skaller af gas slynget ud fra den aldrende stjerne ramme støvmuren. Observationerne er lavet med det europæiske Herschel-rumteleskop, der studerer himlen i infrarødt lys (varmestråling) og i submillimeter-området. Submillimeter-stråling er en mellemting mellem infrarødt lys og radiostråling.

Det er helt normalt, at røde kæmpestjerner udslynger store mængder materiale i form af gas og støv. For Betelgeuses vedkommende har det udkastede materiale skabt en chokfront foran stjernen i den retning, den bevæger sig. Støvmuren er

ifølge forskerne enten en tråd af materiale koblet til Mælkevejens magnetfelt, eller kan være af en nærtliggende sky af gas og støv. Når sammenstødet sker, vil støvmuren formentlig blive markant forstyrret, mens Betelgeuse selv næppe vil lide overlast.

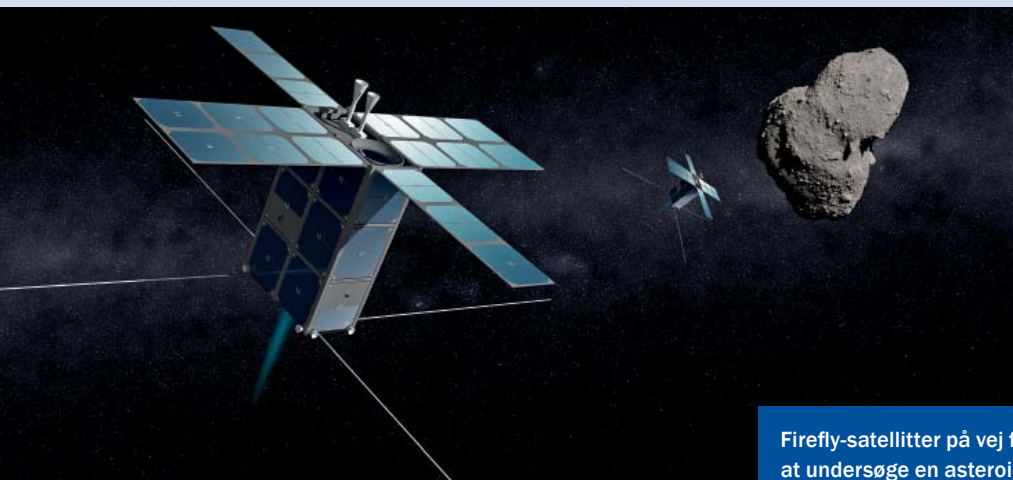
Michael Linden-Vørnle

Credit: ESA/Herschel/PACS/L. Decin m.fl.



Betelgeuse set af Herschel. Stjernen er omgivet af en klumpet boble af materiale, mens en række støvede buer ses til venstre for stjernen. Muren af støv, der er oplyst af stjernen, ses som en næsten lodret bjælke ned gennem venstre side af billedet.

Minedrift på asteroider



Firefly-satellitter på vej for at undersøge en asteroide.

Nu er der ikke bare ét, men to private firmaer, der har til hensigt at hente værdifulde ressourcer fra asteroider i Solsystemet. Sidste år i april annoncerede firmaet Planetary Resources deres planer om minedrift på asteroider og i slutningen af januar kom en ny spiller på banen: et firma ved navn Deep Space Industries. Både Planetary Resources og Deep Space Industries vil inden for de nærmeste år sende rumfartøjer af sted, der i første omgang skal undersøge interessante asteroider.

Planetary Resources vil som udgangspunkt sende et rumteleskop i kredsløb om Jorden, der skal finde interessante asteroider. Det skal senest ske i 2014. Næste trin bliver så sonder, der kan flyve ud og undersøge asteroiderne og dermed bane vejen for missioner, der kan returnere prøver til Jorden og i sidste ende gå i gang med egentlig minedrift.

Deep Space Industries vil ikke opsende et rumteleskop, men vil gå direkte til en flåde af små satellitter – såkaldte Fireflies – der fra 2015 skal se nærmere på interessante asteroider. Året efter skal større satellitter kaldet Dragonflies så indsamle prøver fra asteroider og returnere dem til Jorden.

Undersøgelser peger på, at asteroider i bogstaveligste forstand er en skatkiste af metaller og mineraler, som det i hvert fald i princippet vil være muligt at få fat på – fx guld og platin samt andre metaller (de sjældne jordarter), der er vigtige for fremstilling af elektronik. Spørgsmålet er, om det i sidste ende kan betale sig.

Planetary Resources og Deep Space Industries har her en forskellig tilgang til, hvordan de værdifulde metaller fra rummet skal udnyttes. Således fokuserer Deep Space Industries i højere grad end Planetary Resources på at asteroide-ressourcerne skal udnyttes direkte i rummet til fx produktion af reservedele til satellitter, opbygning af rumbaseret infrastruktur eller støtte til en bemandet mission til Mars.

I første omgang skal både Planetary Resources og Deep Space Industries dog demonstrere, at de kan omsætte deres visioner og idéer til virkelighed. Hvis de på et tidspunkt får succes, vil udnyttelsen af asteroide-ressourcer både kunne bidrage til vækst og udvikling på Jorden og spille en central rolle for vores fremtid i rummet.

Michael Linden-Vørnle

Credit: B. Versteeg, DSI

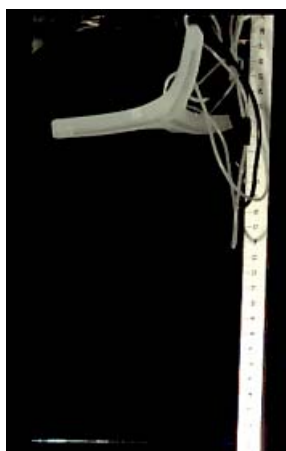
Eksplisiv robot

Amerikanske forskere har i tidsskriftet *Angewandte Chemie* præsenteret en "blød robot" af silikone, der ved hjælp af et princip som i en forbrændingsmotor er i stand til at hoppe mere end 30 gange sin egen højde.

Robotten består i princippet blot af tre bløde arme, hvor der ud i hver arm kan ledes oxygen og metan (CH_4) via en slange og en ventil, og med en computerkontrolleret gnist kan gassen antændes. De kontrollerede eksplosioner får den bløde robot til at hoppe – og den kan bringes til at hoppe mange gange uden at blive ødelagt af varmen fra eksplosionerne.

Forskerne håber, at en udviklet version af deres hoppende robot fx vil kunne bruges i forbindelse med redningsarbejde, hvor små billige robotter af silikone, vil kunne hoppe over forhindringer i sammenstyrtede huse i deres søgen efter overlevende.

CRK. Kilde: *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013, 52, 1–6



Her hopper robotten ca. 25 cm. Se video af den hoppende robot: www.mae.cornell.edu/research/groups/shepherd/

Tungere standardkilogram

Et kilogram har siden 1889 været defineret som massen af det Internationale Prototypekilogram (IPK) i Paris, og det er den eneste enhed, som stadig er defineret ved en bestemt fysisk genstand. Dengang blev der fremstillet omkring 40 kopier af IPK, som blev fordelt på en række lande. Men med årene er de fleste af kopierne blevet tungere i forhold til IPK. I princippet kan man dog ikke afgøre, om det skyldes, at de har taget på, eller om IPK har tabt masse. Under alle omstændigheder kan man ikke være sikker på, at et kilogram i dag er det samme som i 1889.

Når lodderne tager på, skyldes det forurening af deres overflader, for selvom man opbevarer dem i rene laboratorier, kan man ikke helt isolere dem fra atmosfæren. Lodderne bliver derfor med mellemrum vasket og renses efter bestemte forskrifter, men åbenbart ikke med samme resultat. Derfor har forskere fra University of Newcastle i januarudgaven af tidsskriftet *Metrologia* foreslået en renseproces, der involverer UV-stråling og ozon, som skal rengøre overfladerne bedre uden også at beskadige dem. Rensemétoden med UV-stråling og ozon benyttes i øvrigt også til at rengøre de reaktionskamre, der anvendes til studier af aerosoler (se artiklen Rejsen under jorden i dette nummer).

Samtidig tyder de engelske undersøgelser på, at alle lodderne – og altså også IPK – har taget lidt på i masse. Flere laboratorier er dog i gang med at fremstille en vægt, således at masse kan forbindes med naturkonstanten Plancks konstant. Så vil man nemlig kunne fastlægge enheden kilogram ved at definere værdien af Plancks konstant og dermed undvære lodderne. Forventningen er, at en nøjagtig målemetode vil være udviklet inden for fem-ti år.

For en ordens skyld skal det tilføjes, at hvis nogle af læserne også har konstateret, at de er blevet tungere med årene, har det ikke noget med sagen at gøre. Hvis IPK har ændret sin masse, drejer det sig formodentlig om 50 mikrogram, og hvis prototypen er blevet tungere, ville det faktisk medføre, at vi alle vejer lidt mindre end før.

Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space
Kilde: *Metrologia* (2013) bind 50, side 27-36.

Det Internationale
Prototypekilogram i Paris.



Æstetisk videnskab

Hvert år afholder det amerikanske forskningsråd (NSF) sammen med tidsskriftet *Science* en konkurrence, hvor forskere indsender deres mest æstetiske fotos eller illustrationer. Dette års vinder af kategorien fotos viser et close-up af krystaller fra en tand på søpindsvinet *Arbacia punctulata*. Mens geologiske mineraler og syntetiske krystaller normalt har plane overflader og skarpe kanter, så kan mineraler lavet af levende organismer have bemærkelsesværdige former. Billedet er optaget med et scanning-elektronmikroskop og efterfølgende farvet, så hver farve fremhæver en sammenhængende enkeltkrystal af calcit (CaCO_3).

Foto: Pupa U.P.A. Gilbert and Christopher E. Killian, University of Wisconsin-Madison

Close-up foto af krystaller fra tand på søpindsvinet *Arbacia punctulata*. Vinderindslag til konkurrence i tidsskriftet *Science*.



Forfatterne

Bibi Ziersen,
cand.scient.
bibi.ziersen@
gmail.com



Poul Erik
Jensen,
professor.
peje@life.ku.dk



Lærke Münter
Lassen,
ph.d.-
studerende.



Helle Juel
Martens,
lektor,
Center for
Advanced Bioimaging.

Alle ved Center for
Synthetic Biology,
Københavns Universitet.

Overskudsenergi fra fotosyntesen kan i princippet omdirigeres til brug i andre reaktioner. Og det kan være vejen til bæredygtig produktion af fx medicin og naturstoffer.

Fotosyntesen kan noget, som er i høj kurs. Den omdanner billige, fornybare ressourcer – vand, kuldioxid og energien i sollys – til værdifuld kemisk energi. Slutproduktet er den biomasse, der udgør verdens planter og alger, og som vi ikke kan leve uden. Men slutproduktet er ikke enden på historien. Hvis overskudsenergi fra fotosyntesen kan omdirigeres til interessante enzymer, kan det måske føre til en ny og bæredygtig måde at fremstille medicin og andre naturstoffer på – drevet direkte af sollys.

Det er netop visionen for en gruppe forskere ved Københavns Universitet, der arbejder med at udnytte mere af fotosyntesens potentiale.

Begejstrede elektroner

Det er mange års forskning i især én bestemt komponent i fotosyntesen – fotosystem I (fotosystem ét) – der har givet liv til ideen. Fotosystem I flytter elektroner ved hjælp af energi fra sollyset. Flytningen kræver, at elektronernes energiniveau hæves: Man siger, at elektronerne exciteres, og fotosystem I er det sted i naturen, hvor det sker med allerstørst kraft og effektivitet. Det betyder bl.a., at elektronerne efterfølgende kan bruges i alle tænkelige reaktioner, som kræver "elektrisk" energi – altså mere eller mindre exciterede elektroner. Sådanne reaktioner kaldes redox-reaktioner, og er fuldstændigt essentielle for alt liv.

De fleste af fotosyntesens exciterede elektroner bliver brugt i de redox-reaktioner, hvor kuldioxid (CO_2) laves om til sukker. Sukkeret fungerer herefter som den væsentligste byggesten til at lave al den biomasse, en plante eller alge består af.

Og processen er i den grad bæredygtig: kulstofkilden er kuldioxid fra luften, energikilden er sollys – og elektronkilden er vandmolekyler.

Effektiv men ineffektiv

Den bæredygtige fotosyntese er tydeligvis en stor succes, som dominerer (næsten) overalt på vores klode. Men set med bestemte "energi-briller" kan

Drevet af lyset

– fotosyntesen på arbejde

man alligevel sige, at den er overraskende ineffektiv. Af den mængde solenergi, der rammer en plante, er det nemlig kun omkring 0,5 til 2 procent, der ender som energi bundet op i plantens biomasse. For alger er det tal en smule bedre, men det er typisk højest 4 procent.

Hvad er så skyld i denne ineffektivitet? Der er flere svar her, men en interessant pointe er, at nogle af fotosyntesens delprocesser er uhyre effektive, mens andre er mere eller mindre ineffektive. Et eksempel på det sidste er redox-reaktionerne, hvor kuldioxid laves om til sukker. Det er en overraskende sløj proces i forhold til fotosyntesens lysreaktioner, hvor vi finder fotosystem I. Der er derfor ofte et overskud af dyrebare, exciterede elektroner fra fotosystem I, som ikke bliver brugt til at lave sukker. Og de elektroner repræsenterer i yderste konsekvens en mængde energi, der går tabt.

Fra tabt energi til enzym-energi

Ideen på Københavns Universitet er at omdirigere nogle af disse overskuds-elektroner til andre redox-reaktioner, som er interessante set i et samfundsmæssigt perspektiv.

Og her kommer en bestemt gruppe af enzymer ind i billedet. Cytokrom P450-enzymet (eller bare P450'ere) er en kæmpestor gruppe af enzymer, som alle laver vigtige redox-reaktioner. Specielt P450'erne fra planter er interessante, fordi de er nødvendige i biosyntesen af mange naturstoffer, som spiller en vigtig rolle i vores liv. Et par velkendte eksempler er malariamedicinen artemisinin og kræft-medicinen taxol. Stoffer, der er dyre, fordi de naturligt kun produceres i meget små mængder, og ofte i planter, som er sjældne eller vokser meget langsomt. P450'ernes reaktioner er komplicerede og udføres meget præcist. De er derfor svære at efterligne i et reagensglas med traditionel kemi, og der er i stedet brug for biologiske systemer, hvor der kan skrues op for P450'ernes aktivitet. Til det skal der bruges elektroner – mange elektroner – og de kunne passende leveres af fotosystem I.

Nye reaktioner drevet af lys

For at teste den idé og opnå såkaldt proof-of-concept (en slags prototype) har man arbejdet med to velstuderede P450'ere fra græs, hvis aktivitet er let at måle. Enzymerne laver et planteforsvarstof ud fra en simpel aminosyre.

Første spørgsmål at besvare var, om disse enzymer overhovedet var med på ideen om at modtage elektroner fra fotosystem I. For at undersøge dette blev enzymerne udtrykt (dvs. produceret naturligt) i en tobaksplante. Det var vigtigt at dirigere enzymerne præcis derhen i cellen, hvor fotosystem I også befinder sig, nemlig i planternes grønkorn. Grønkornet er en slags celle i cellen (et organel), som evolutionært set engang var en selvstændig fotosyntetisk bakterie – meget lig de cyanobakterier, også kendt som blå-grønne alger, vi kender i dag.

Det lykkedes at få begge P450'ere ind i grønkornet ved hjælp af et såkaldt transit-peptid, der fungerer som en slags postnummer i cellen. Og det interessante resultat var, at den blotte nærhed til fotosystem I var tilstrækkelig til, at enzymerne nu kunne modtage og bruge exciterede elektroner herfra. Det blev altså muligt at drive enzymernes reaktioner ved hjælp af lys.

Skarp konkurrence

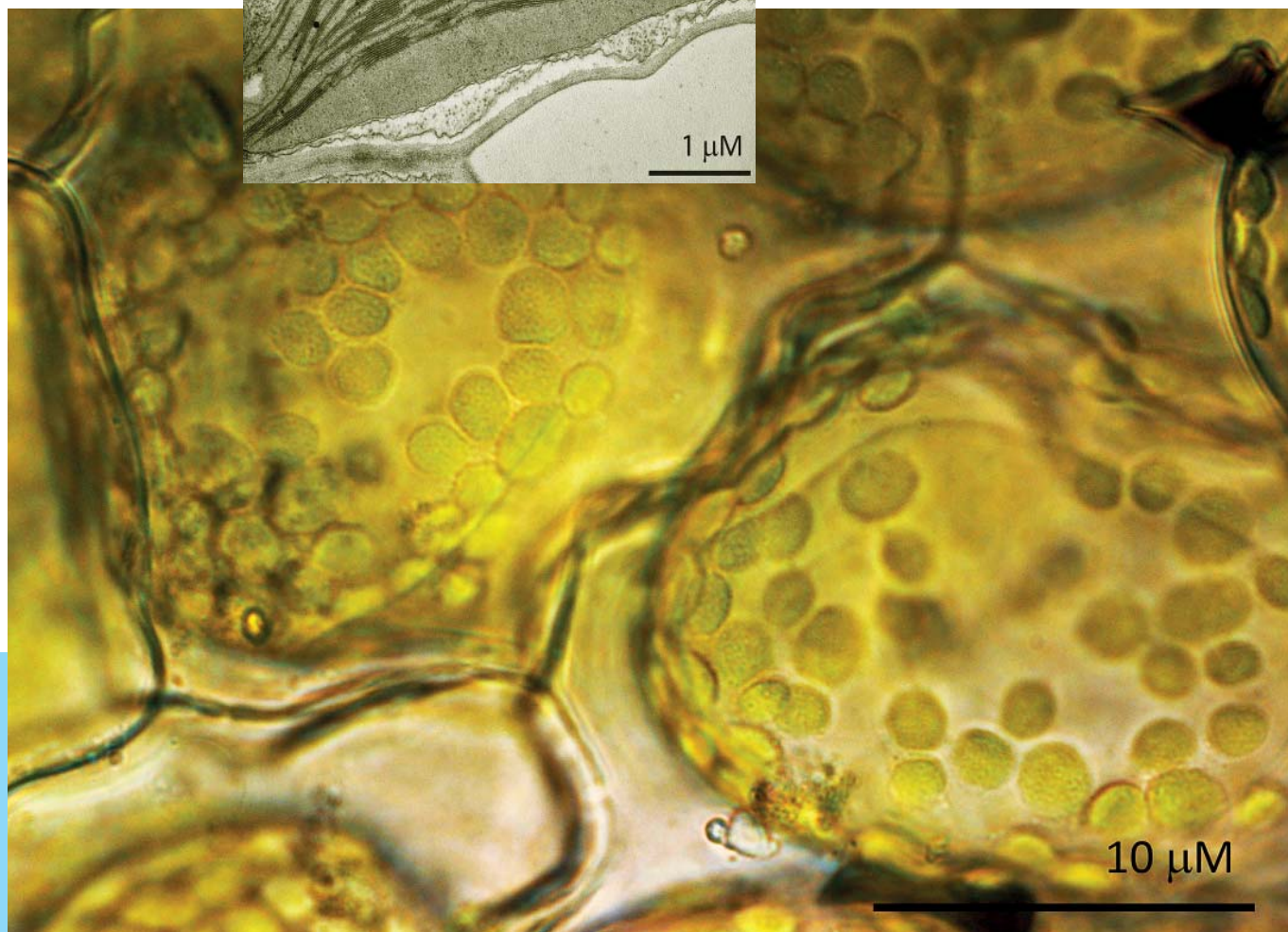
Et oplagt spørgsmål er nu, om der kan overføres nok elektroner til de nye redox-reaktioner i grønkornet. P450'erne er nemlig i skarp konkurrence med flere andre processer, som også har brug for elektronerne.

Mere præcist modtager hverken P450'erne eller de andre processer elektroner direkte fra fotosystem I. De overføres i stedet via et lille redox-protein, som kaldes ferredoxin. Ferredoxin fungerer som et batteri i grønkornet: Det kræver energi at lade det op – og den opgave løser fotosystem I – men når først det er opladt, kan det tappes af flere forskellige enzymer.

Et enkelt grønkorn
– de mørkegrønne stre-
ger er de thylakoid mem-
braner, hvor fotosyste-
merne er forankret.

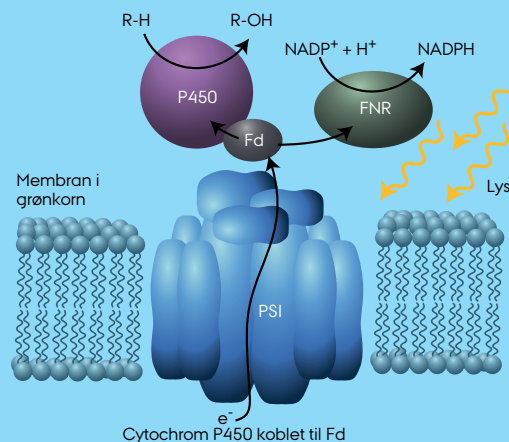
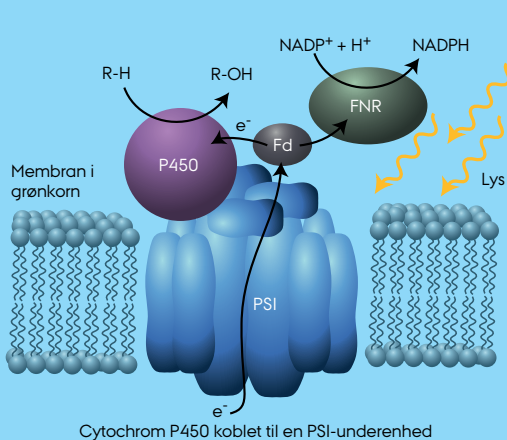


De fleste ferredoxin-batterier tappes af enzymet FNR, som sørger for at lede elektronerne videre bl.a. til den proces, hvor kuldioxid laves om til sukker. Hvis P450'erne skal have noget som helst håb om at modtage mange elektroner fra fotosyntesen, skal de altså konkurrere med især FNR om ferredoxins gunst.



Planteceller med mange
grønkorn i hver.

Foto: Xxx.



Elektroner omdirigeres

Hvis der skal stjæles elektroner fra fotosyntesen skal man gå efter det lille protein ferredoxin (Fd). Ferredoxin bliver opladt med elektroner af fotosystem I (PSI), så man kan altid finde ferredoxin tæt herved. For at dirigere flere elektroner hen til P450-enzymet kan enzymet enten fastgøres direkte på fotosystem I (venstre del af figuren), eller de kan sættes sammen med ferredoxin (højre del af figuren). Resultatet skulle gerne være, at det bliver sværere for andre enzymer, især FNR, at få adgang til de elektroner, ferredoxin bærer på. Det er en generel reaktion, at P450 omdanner R-H til R-OH.

Mod brugbare systemer

Resultaterne fra Københavns Universitet viser, at P450'erne i grønkornet modtager langt færre elektroner, når FNR er til stede. Kun en ganske lille del ender i P450'ernes reaktioner. Der skal altså gøres noget for at skærpe enzymernes konkurrenceevne, men det handler om balance: Stjæler de for mange elektroner, kan planten ikke overleve.

Ved genetisk modifikation kan man sammensætte flere proteiner (enzymmer er også proteiner) til ét – og det giver muligheder. Det handler kort sagt om at få P450'erne i så tæt kontakt med ferredoxin som muligt, og om delvist at udelukke den effektive bejler FNR. Det kan gøres ved at sætte P450'erne sammen med ferredoxin, eller ved at sætte dem fast på fotosystem I, hvilket lige nu afprøves i cyanobakterier (se figuren: Elektroner omdirigeres).

Næste trin i udviklingen bliver at arbejde med P450'ere, som bidrager til biosyntesen af et naturligt stof med høj værdi – fx med anti-cancer effekt. Det vides endnu ikke, om alle P450'ere er i stand til at modtage elektroner fra ferredoxin, men der er god grund til at være optimistisk. De fleste P450'ere minder nemlig meget om hinanden i deres rumlige

opbygning, og det er bl.a. denne rumlige struktur, der afgør, hvor effektivt de kan tappe ferredoxin for elektroner.

Gamle komponenter i nye sammenhænge

Kombinationen af fotosyntese og P450'ere er blot ét eksempel på, at der kan skabes systemer med nye funktioner, når man sammensætter biologiske komponenter på kryds og tværs.

Hvis vi vil have et samfund med bæredygtig produktion af højværdistoffer, materialer og energi, bliver fotosyntesen uden tvivl en vigtig medspiller. Og en større del af fotosyntesens potentiale bliver måske tilgængeligt, hvis vi lærer at bruge dens mest effektive komponenter på nye måder.

Bag forskningen

Udover forfatterne har en række andre forskere ved Center for Synthetic Biology ved Københavns Universitet medvirket til den forskning, der er beskrevet i artiklen:

- Professor Birger Lindberg Møller
- Post. doc. Agnieszka Nielsen
- Ph.d. Kenneth Jensen
- Ph.d-studerende Thiyagarajan Gnanasekaran

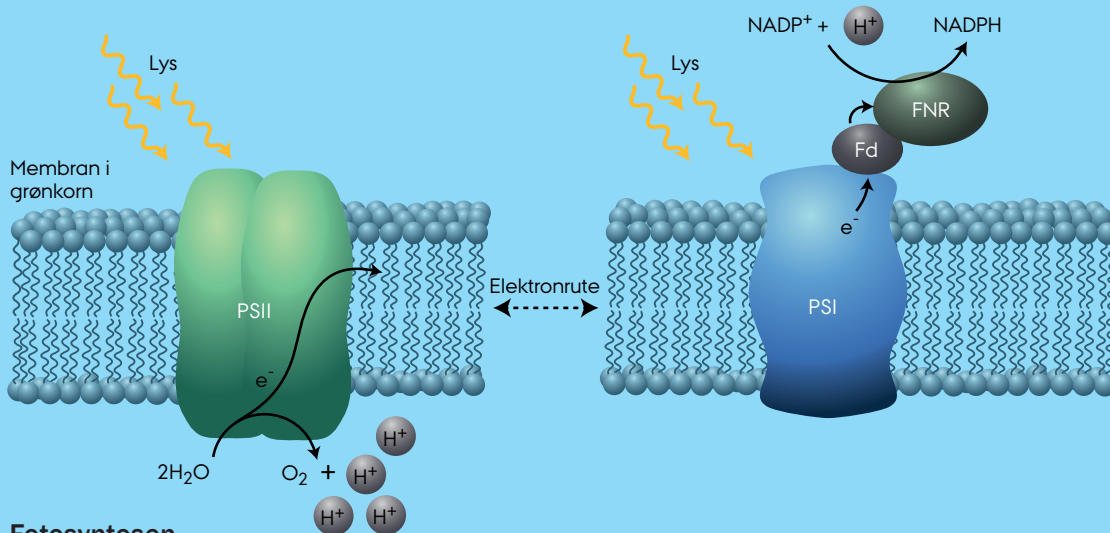
Artiklen er en revideret version af en artikel oprindeligt skrevet til et symposium for studerende, der har modtaget et scholarstipendium fra Novo Nordisk eller Novozymes.

Videre læsning

Møller, BL (2011): Biologien på arbejde – dansk satsning på syntesebiologi. *Aktuel Naturvidenskab* 1.

Jensen, K; Jensen PE, Møller BL (2011): Light-driven cytochrome P450 hydroxylations. *ACS Chemical Biology* 6, 533-539.

Yacoby, I; et. al. (2011): Photosynthetic electron partitioning between [FeFe]-hydrogenase and ferredoxin:NADP(+) oxidoreductase (FNR) enzymes in vitro. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 9396-9401.



Fotosyntesen

I planter og alger foregår fotosyntesen i grønkornet, som der kan være over hundrede af i en enkelt celle. Et enkelt grønkorn minder meget om en enkelt cyanobakterie (tidligere kendt som blå-grønne alger), og princippet i fotosyntesen er det samme, uanset om det handler om cyanobakterier, alger eller planter.

Fotosyntesens fremmeste opgave er at lave sukker ud fra kuldioxid, og det kræver bl.a. energi i form af elektroner. For at kunne skaffe (næsten) ubegrænsede mængder af elektroner til den proces, bliver de hentet fra vandmolekyler. Men det kræver sit at trække elektroner ud af vand! Fotosyntesens fotosystemer – store komplekser af protein og pigmenter – er i stand til netop dét. De fanger og kontrollerer energien i det sollys, der rammer dem, og anvender den energi til at excitere helt bestemte elektroner. Resultatet er, at elektroner flyttes fra vand til det lille protein ferredoxin (Fd). Ferredoxin bliver med andre ord "opladt" med elektrisk energi.

Det er fotosystem II (PSII), som først hiver elektronerne ud af vand, og fotosystem I (PSI), som herefter flytter de selv samme elektroner over i ferredoxin. Ferredoxin fungerer herefter som grønkornets batteri, og kan tappes af flere processer. Den væsentligste går via enzymet FNR til NADPH, som sammen med ATP er nødvendig i processen, hvor kuldioxid laves om til sukker.

Bohrs atomteori fylder 100 år

Med Niels Bohrs atomteori fra 1913 indledtes et nyt og frugtbart kapitel i fysikhistorien. I denne jubilæumsartikel fortæller Helge Kragh om, hvordan teorien blev til, og hvad den egentlig gik ud på.



Forfatter



Helge Kragh,
professor
Inst. for Fysik
og Astronomi,
Videnskabsstudier,
Aarhus Universitet
helge.kragh@ivs.au.dk

Ædelgassen helium hører til de letteste af grundstofferne, mens det radioaktive metal radium hører til de tungeste. Bohr søgte at forklare strukturen af begge atomer.

Når Niels Bohr har en så høj status i dansk og international videnskabshistorie skyldes det ikke mindst den teori for atomets struktur, han som 27-årig foreslog i 1913, for netop 100 år siden. Teorien blev ikke blot belønnet med en Nobelpris, den blev også indledningen til den kvantemekanik, der i 1920'erne skulle revolutionere fysikkens verdensbillede og i hvis fortolkning Bohr spillede en afgørende rolle. Det hele startede med en dybt original, men ganske ufilosofisk artikel fra 1913, hvori Bohr gav et overraskende, ja endda provokerende nyt billede af atomets arkitektur.

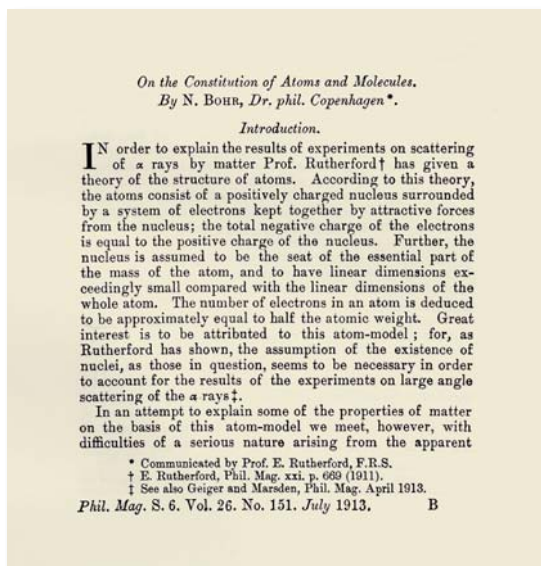
I foråret 1912 befandt Bohr sig som postdoc i Manchester, hvor han arbejdede under Ernest Rutherford, der året før havde foreslået ideen om en atom-

kerne, nemlig at næsten hele atomets masse er koncentreret i en ganske lille, positivt ladet kerne, hvorom de negative elektroner bevæger sig. Rutherfords kernemodel vakte kun ringe interesse, men Bohr var overbevist om dens sandhed og besluttede sig for at udvikle den til en egentlig atomteori. I sommeren 1912, umiddelbart før han vendte hjem til Danmark, kunne han præsentere Rutherford for grundtrækkene i sin nye og sære teori for strukturen af atomer og molekyler.

I denne tidlige version havde Bohr indført kvantehypotesen i atomets arkitektur, men endnu uden at anvende den på de spektrale, lysende atomer udsender. Der var tale om en kladde, hvilket den langsomt og metodisk arbejdende Bohr udmærket var klar over. For ham at se var det vigtigste, at han kunne redegøre for kerneatomets stabilitet og derved retfærdiggøre Rutherfords ide om atomets opbygning. Det tog et helt år, før Bohr fik omformet sin kladde til en gennemarbejdet teori for atomer og molekyler. Resultatet var tre banebrydende artikler – kendt som Bohrs ”trilogi” – der udkom i sommeren og efteråret 1913 i det engelske fysiktidsskrift *Philosophical Magazine*.

En kvanteteori for atomet

Bohr baserede sin teori for det simple brintatom – hvor en enkelt elektron bevæger sig cirkulært omkring kernen – på postulater eller grundantagelser. Disse var af en radikal karakter, idet de stred mod den kendte fysiks love, men han hævdede, at de ikke desto mindre var nødvendige for at forklare atomets stabilitet og andre eksperimentelle kendsgerninger.



Den første side af Bohrs banebrydende afhandling fra 1913.

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

GROUP 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

PERIOD 1 2 3 4 5 6 7

Atomic Number
Symbol
Element Name
Atomic Weight

LEGEND:

- METALLOIDS
- OTHER NONMETALS
- HALOGENS
- NOBLE GASES
- ALKALI METALS
- ALKALINE EARTH METALS
- LANTHANOIDS
- ACTINOIDS
- TRANSITION METALS
- POST-TRANSITION METALS

Ifølge det første postulat kan atomet kun eksistere i visse *stationære tilstande* svarende til bestemte energier og afstande mellem kernen og elektronen. Alle andre energier og afstande er "forbudte". Ved at gøre brug af den kvantekonstant, Max Planck havde indført i 1900, og som har symbolet h , kunne Bohr angive brintatoms radius i dets laveste energitilstand, kaldet grundtilstanden. Denne radius, der har værdien ca. 0,05 nm, benævnes stadig Bohr-radien.

Et atom kan altså kun befinde sig i diskrete energitilstande, men ifølge Bohrs andet postulat kan atomet ændre sin tilstand, ved at en elektron "springer" fra en stationær bane til en anden. Gennem et sådant "kvantespring" til en lavere bane vil forskellen i energi, ΔE , udsendes som lys af en bestemt frekvens ν , givet ved $\Delta E = h\nu$. Denne mekanisme for lysudsendelse stred ganske mod den etablerede opfattelse, hvorefter lysets frekvens måtte svare til elektronens omløbs- eller vibrationsfrekvens.

De to postulater kunne ikke selv eftervises eksperimentelt, men det kunne de konsekvenser, der fulgte af dem og som derved retfærdiggjorte postulatene.

Først og fremmest kunne Bohr ud fra simple argumenter forklare brints spektrum, sådan som det havde været kendt siden 1885, da den svejtsiske skolelærer Johann Balmer først bemærkede det matematiske mønster i spektret (se boks). Med Bohrs forklaring blev Balmers empiriske lovmæssighed udledt fra fundamental fysik, hvilket gjorde stort indtryk på samtidens fysikere.

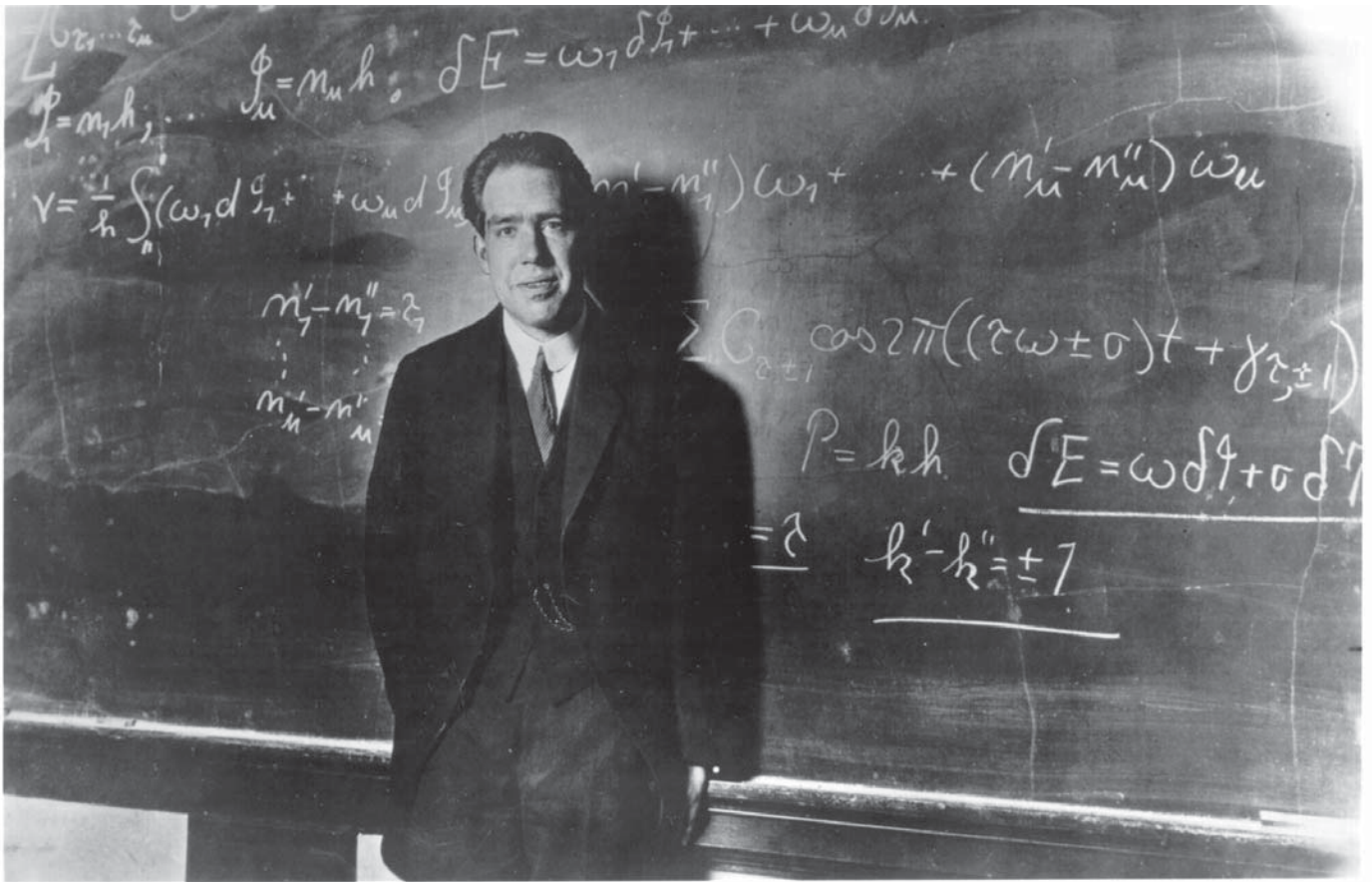
Eksperimenter og forudsigelser

Selv de fysikere, der var skeptiske over for Bohrs teori (og dem var der mange af), måtte erkende dens store empiriske styrke: teorien havde ikke blot stor forklaringskraft, den forudsagde også en række fænomener, der endnu ikke var kendte og som derfor kunne bruges til at teste teorien. Især for brint-atomet viste Bohrs forudsigelser sig at passe perfekt med målinger, hvilket kan illustreres af hans beregnede værdi for den energi, der skal til for at frigøre elektronen fra et brintatom og således ionisere det. Bohr fandt for ioniseringsenergien 13,6 eV, mens samtidens grove eksperimenter viste ca. 11 eV for samme størrelse. Da eksperimenterne med tiden blev bedre, fandt man netop de 13,6 eV som Bohr havde beregnet.

Det fulgte desuden fra Bohrs teori, at frekvensen af lys måtte afhænge en lille smule af atomkernens masse, også selv om atomerne havde identiske elektronsystemer. Dette skyldes, at elektronen bevæger sig om det fælles massemidtpunkt for elektron og kerne, og at dette midtpunkt afhænger af kernens masse. Denne indsigt brugte Bohr i 1913 til at forklare forskellen i det lys, der udsendes fra et brintatom (^1H) og fra et ioniseret heliumatom ($^4\text{He}^+$), hvor der i begge tilfælde er en enkelt elektron i omløb om kernen.

Bohr indså også, at spektrallinjerne af to isotoper af samme grundstof måtte være ganske lidt forskudt i forhold til hinanden. Denne isotopeffekt blev først påvist i 1920 for molekyler og tolv år senere for brint-atomet, nemlig da den amerikanske kemiker Harold Urey opdagede den tunge brintisotop kaldet deute-

Bohrs atomteori fra 1913 var en milepæl i videnskabshistorien, og et nødvendigt skridt på vejen mod en dybere forståelse af det periodiske systems "indbyg-gere". Foto: Colorbox.



Bohr forelæser om korrespondensprincippet i New York 1923.

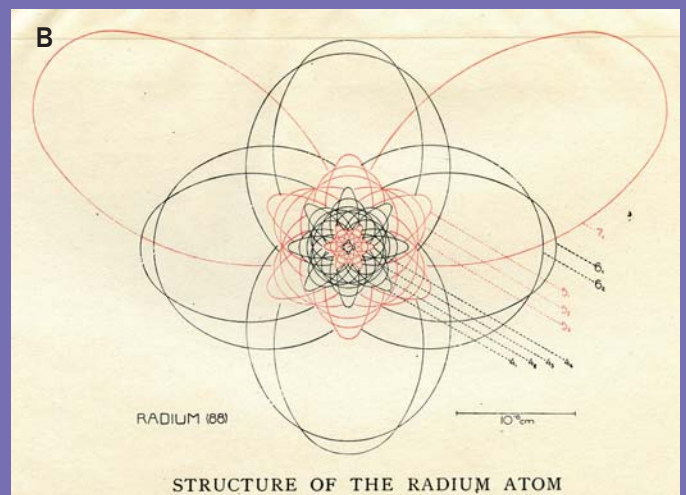
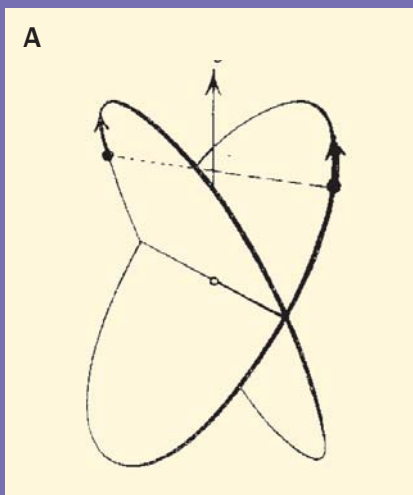
rium (^2H). Ureys vigtige opdagelse, der blev belønnet med en Nobelpris, var direkte baseret på Bohrs teori for isotopeffekten.

De mange bekræftede forudsigelser af Bohrs teori var dog i det væsentlige begrænset til brintatomet og andre atomsystemer med blot en enkelt elektron (som He^+ og ^2H). Heliumatomet har to elektroner omkring kernen, og selv for dette simple system kunne Bohr og andre fysikere ikke opnå en tilfredsstillende overensstemmelse mellem teori og eksperimen.

Deres herkuliske anstrengelser førte i starten af 1920'erne til en model for heliumatomet, hvor de to elektroners baner skærer hinanden. Det var en god model, men desværre ikke god nok. Problemet med helium var den første antydning af, at Bohrs succesrige teori havde sine begrænsninger og måske levede på lånt tid. Et andet problem var bindingen af atomer til molekyler, som Bohr havde søgt at løse i sin afhandling fra 1913. Heller ikke dette problem, der var af indlysende betydning for kemien, lykkedes det at løse.

A. Bohrs model af heliumatomet fra 1921.

B. Bohrs model af radiumatomet, som han viste det i forelæsninger fra starten af 1920'erne.



Den videre udvikling

I betragtning af den radikale natur af Bohrs teori blev den overraskende positivt modtaget af fysiker-samfundet, sådan at den senest 1920 blev anset for den eneste troværdige model for atomets struktur.

Den havde på den tid en næsten paradigmatisk status. Når dette var tilfældet, skyldtes det primært dens instrumentelle dyder, altså dens evne til at forklare og forudsige fysiske fænomener med en ofte forbløffende præcision. Bohr selv var dybt optaget af eksperimenter og betragtede altid sin teori som intimt forbundet med arbejdet i laboratoriet. Han var endnu ikke blevet den sokratiske kvantefilosof, han i dag ofte bliver betragtet som.

Selv om de fleste fysikere anerkendte den nye model for atomet, så var der i lang tid skepsis over for dens grundlag i form af de to kvante-postulater, der af mange blev opfattet som vildt mærkelige.

Det er karakteristisk, at da Bohr i 1920 blev nomineret til Nobelprisen, afviste komiteen i Stockholm indstillingen med den begrundelse, at de to postulater var i modstrid med anerkendte fysiske love. Men det var just hele pointen med Bohrs teori!

To år senere fik han nu alligevel den eftertragtede pris. I sit Nobelforedrag fra december 1922 gav han en fremstilling af sine nyeste ideer om atomernes opbygning, der på mange måder adskilte sig fra dem, han oprindeligt havde foreslået. Bohr argumenterede optimistisk, at han nu var i stand til at forstå strukturen af alle atomer i det periodiske system ud fra antagelsen om, at elektronerne bevægede sig i symmetriske mønstre af ellipsebaner. Det var en fascinerende og pittoresk teori, men den viste sig snart at være mere fascinerende end sand.

En frugtbar fejltagelse

Ifølge Bohrs model for atomet bevæger elektronerne sig i pæne cirkulære eller elliptiske baner omkring kernen, på samme måde som planeterne bevæger sig omkring Solen. Denne modelforestilling er grundlæggende forkert, sådan som det stod klart, da den nye kvantemekanik i 1925 afløste Bohrs kvante-teori for atomet. Hvis Bohrs teori blot var en fejltagelse, hvorfor da gøre så megen stads af den? Fik han Nobelprisen for en forkert teori?

I en hvis forstand ja, men i en anden og vigtigere forstand nej. Selv om atommodellen er forkert, så har dens grundlag i form af stationære tilstande og kvantespring overlevet den kvantemekaniske revolution. Bohr selv var meget bevidst om, at hans model var en analogi snarere end en sand gengivelse af atomet. Denne analogi mellem kvante-verdenen og den klassiske verden formulerede han i 1918 i det såkaldte korrespondensprincip, der viste sig yderst frugtbar i den videre udvikling af atomfysikken.

Da den unge Werner Heisenberg i 1925 skabte grundlaget for den nye kvantemekanik, omtalte han sin teori som en "matematisk generalisering af Bohrs korrespondensprincip." Dette var også Bohrs opfattelse. "Hele formuleringen af kvantemekanikken kan meget vel anses som en skærpelse af dette princip indhold," skrev han i efteråret 1925.

Jo, Bohrs berømmede atomteori fra 1913 var forkert, men den var en yderst frugtbar og næsten nødvendig fejltagelse. Lad os huske på, at næsten alle banebrydende teorier i videnskabshistorien har været forkerte. Det afgørende er ikke, om de er sande eller falske, men om de fører til fremskridt i erkendelsen. Set i det perspektiv er der særdeles god grund til at fremhæve Bohrs atomteori som en milepæl i videnskabshistorien. ■

Videre læsning

John Rosendahl Nielsen (2007): Kvantenspring i det 20. Århundrede (København: Fysikforlaget).

Helge Kragh (2012): Niels Bohr and the Quantum Atom (Oxford: Oxford University Press).

Bohrs 1913-afhandling: <http://web.ihep.su/dbserve/compas/src/bohr13/eng.pdf>

Brintspektret

Alle linjer i det synlige brintspektrum kan gengives ved Balmers formel for lysets frekvens,

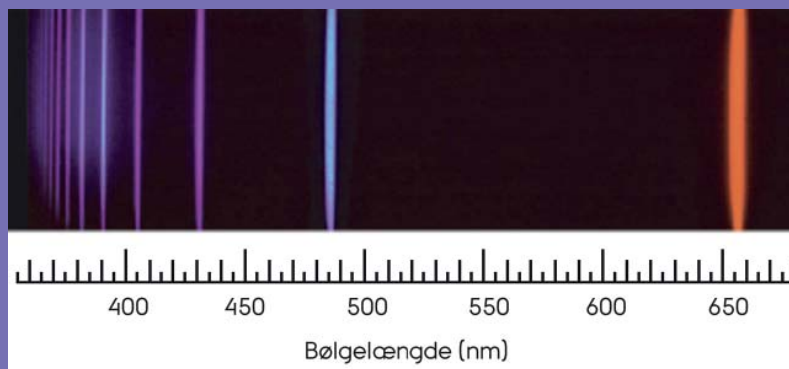
$$\nu = cR \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

– eller den tilsvarende formel for bølgelængden,

$$\lambda = \frac{4}{R} \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$$

– hvor $n = 3, 4, \dots$ og hvor c og R betegner henholdsvis lysets hastighed og et empirisk bestemt tal kendt som Rydbergs konstant. Bohr forklarede formlen som overgange fra anslåede tilstande med $n > 2$ til tilstanden $n = 2$. Desuden kunne han forklare Rydberg-konstanten ud fra fundamentale naturkonstanter som elektronens ladning e og masse m og Plancks konstant h . Med datidens enhedssystem (cm-gram-sekund) fik han:

$$R = \left(\frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \right)$$



Bohrs første hit i

Einstein publicerede fire afhandlinger i 1905. Kun én af dem blev belønnet med nobelprisen. Niels Bohr publicerede fire afhandlinger i 1913. Her er historien om den, han *ikke* fik nobelprisen for, men som ikke desto mindre har stor gennemslagskraft den dag i dag.

Forfatter



Peter Sigmund, professor
Institut for

Fysik, Kemi og Farmaci,
Syddansk Universitet
E-mail: sigmund@sdu.dk

Øverste foto: Bohrs portræt pryder 500 kr-sedler, næsten som et symbolsk udtryk for den store værdi af hans videnskabelige arbejde.

Foto: Colorbox.

Man siger, at halvdelen af alle videnskabelige publikationer aldrig bliver citeret, og at hovedparten af resten er glemt efter ti år.

Niels Bohrs publikationer finder derimod uformindsket interesse blandt forskerne. Det kan ses ved opslag i Web of Science, der viser over hundrede citater pr år i faglitteraturen til Bohrs videnskabelige artikler. De tre arbejder fra 1913, som blev belønnet med nobelprisen, står som nr. 5, 7 og 9 ordnet efter antallet af citater. Som nr. 1 står et arbejde om kernespløtning fra 1939 med John Wheeler, og som nr. 3 ses en afhandling fra 1913 med den noget nørdede titel *On the Theory of the Decrease of Velocity of Moving Electrified Particles on passing through Matter*, fulgt op som nr. 4 af endnu en afhandling med næsten samme titel fra 1915.

At de tre arbejder, der præsenterer atommodellen, ikke topper listen, er næppe overraskende, fordi de for længst er blevet til almenviden og en fast bestanddel af lærebøgerne i fysik. Men hvad skyldes den store interesse for bevægelsen af elektrificerede partikler, hundrede år efter at afhandlingen er udkommet? Vel, det vil jeg prøve at svare på i denne artikel.

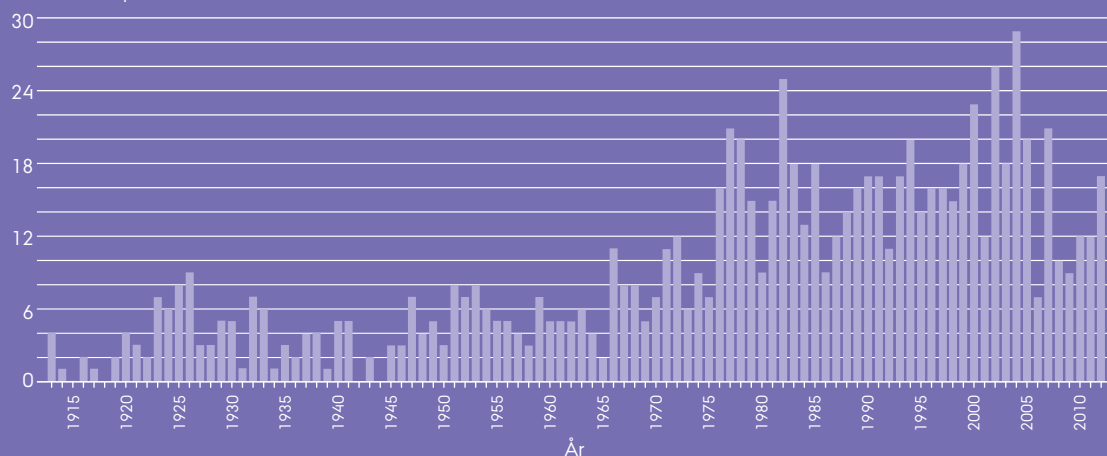
På sporet af elektrificerede partikler

Lad mig foreløbigt nøjes med at forklare, at "elektrificerede partikler" for Bohr stod for α - og β -partikler, der spillede en central rolle i udviklingen af atom- og kernefysikken. Man bruger ikke betegnelsen længere. Til gengæld har de begreber og teknikker, Bohr udviklede her, betydning for alle grene af acceleratorfysikken og dens viden-

Figur 1

Antal årlige citater til de to omtalte afhandlinger fra 1913 og 1915 over hundrede år, ekstraheret fra Web of Science. Selv om antallet formentlig er undervurderet i de tidlige år, er det slående, at det har været støt stigende.

Antal citater per år



1913

skabelige og teknologiske anvendelser (figur 1). For eksempel er det her, det videnskabelige grundlag blev skabt for det nye strålebehandlingscentrum, der skal bygges på Skejby Sygehus ifølge Sundhedsstyrelsens anbefaling.

Men først noget om baggrunden: Da Niels Bohr kom til Manchester i 1912, var Ernest Rutherford og hans medarbejdere i fuld gang med at udforske egenskaberne af de nyligt opdagede atomkerner. Et vigtigt redskab var tågekammeret, der viste sporene af α - og β -partikler i luft mættet med vanddamp (figur 2). I den sammenhæng havde man brug for at kunne forstå længden af disse spor. En teoretiker, C. G. Darwin, barnebarn af "den rigtige Darwin", som Bohr udtrykte det, havde lige skrevet en afhandling om emnet, som Bohr syntes indeholdt en alvorlig fejl. Han tog selv problematikken op, og resultatet af hans overvejelser var en teori, som blev retningsvisende for alt fremtidigt arbejde på området.

Ionisering og energitab

Sporene i et tågekammer fremkommer ved ionisering, dvs. ved at luftmolekyler omdannes til ioner af den indkommende stråling. Ionernes elektriske ladning tiltrækker vandmolekyler, hvilket indebærer at vanddamp kondenseres til synlige dråber, der markerer partiklens bane.

Ioniseringen koster energi. Derved bremses partiklen ned, og den stopper, når energien er brugt op. Det er derfor nærliggende at antage, som Darwin gjorde, at det er ioniseringen, der bestemmer banens længde. Han bestemte derfor energitabet ved kun at medregne begivenheder til energitabet, hvor α -partiklen trænger ind i et atom.

Det er her, Bohr tog fat: En ting er, at ioniseringen giver anledning til et synligt spor, men sporets længde bestemmes af hele energitabet, ikke kun den del, der giver anledning til dannelse af ioner. Men hvad ellers kan energi bruges til? Jo, fra teorien for optisk dispersion og absorption, som Bohr kendte, vidste man, at elektronerne i et atom kan sættes i bevægelse af en lysbølge, uden at elektronen forlader atomet. Det elektriske felt af en lysbølge er langt mindre end en α -partikels på en atomafstand.

Nedbremsningsevnen

Bohrs første afhandling fra 1913 omhandler denne proces (figur 3). Resultatet af hans beregning var, at luftens "nedbremsningsevne" var op til det dobbelte af hvad Darwin havde beregnet, og at afhængigheden af partiklens hastighed var en anden. En væsentlig del af teorien var opdelingen i to grupper af sammenstød: Dem, hvor elektronerne får så megen energi, at de kan forlade atomet, og dem hvor de bare eksciteres (i nutidens sprogbrug).

Vekselvirkningen mellem den indkommende stråling og elektronerne blev beskrevet teoretisk ved Newtons ligninger. Det gjaldt både for optisk dispersion og absorption og for nedbremsningen af ladede partikler, idet kvantemekanikken ikke var opfundet endnu (boks).

Nedbremsningen

I klassisk teori for optisk dispersion og absorption kan elektronen udføre harmoniske svingninger. En lysbølge, der gennemtrænger mediet med denne frekvens, absorberes. Niels Bohr viste, at en α -partikel, der rammer et atom, kan overføre energi til en af atomets elektroner, hvis stødet er kortvarigt, mens der ikke overføres energi for stød på stor afstand. Den kritiske stødafstand, der markerer overgangen mellem hurtige og langsomme stød, kaldes adiabatafstanden og er bestemt ved absorptionsfrekvensen. Selve opdagelsen af sammenhængen mellem optik og atomare stødprocesser er en erkendelse med vidtrækkende konsekvenser. Se også figur 3.



Figur 2

Klassisk tågekammerbillede af Meitner og Freitag, som viser spor af α -partikler, dvs. heliumkerner fra radioaktive henfald i luft mættet med vanddamp. Kilden, et radioaktivt præparat, er nederst i billedet. Hovedparten af sporene er retlinede og næsten lige lange.

Bohr erkendte, at partiklernes hastighed kunne være så høj, at Einsteins dengang nye relativitetsteori kunne påvirke resultatet af hans regning. Han udvidede teorien i afhandlingen fra 1915, hvor han i øvrigt præsenterede en smuk teori for fluktuationen i partiklers energitab. Den teori er den dag i dag udgangspunkt for enhver beregning af energitabsfluktuationer.

Bohrs nedbremsningsteori har sit eget anvendelsesområde

I 1925 blev Bohrs atomteori afløst af kvantemekanikken. Det havde også konsekvenser for Bohrs nedbremsningsteori, og i 1930 skabte Hans Bethe (figur 4) den tilsvarende kvanteteori. Ved første øjekast har de to teorier ikke meget tilfælles, men et nærmere studium viser hurtigt, at Bethe lændede sig op ad Bohrs arbejde så meget som det kan lade sig gøre. Specielt har Bethe lige som Bohr opdelt sammenstødene i en blød og en hård gruppe.

Bethes teori blev, sammen med en relativistisk udvidelse, som ikke mindst Christian Møller i København havde en væsentlig andel i, hurtigt accepteret som den nye standard. Den er da fortsat uundværlig i hele højenergifysikken. Men i modsætning til Bohrs atomteori, der nutildags mest har didaktisk og historisk betydning, er der områder, hvor Bohrs nedbremsningsteori giver en bedre beskrivelse end Bethes kvanteteori.

Hvordan kan det nu være? Kvanteteorien indeholder da den klassiske mekanik som et grænsetilfælde. Jo, det er lige præcist pointen. Det er velkendt, at den makroskopiske verden, der har at gøre med store masser, er særdeles velbeskrevet ved Newtons mekanik. Det samme gælder til en vis grad i den mikroskopiske verden: En tung atomkernes bevægelse følger Newtons love et langt stykke hen ad vejen. Det er ikke mindst kvantekemikerne glade for, når de beskriver molekylspektre ved kun at anvende kvantemekanik på elektronernes bevægelse, mens atomkernen beskrives klassisk.

Det er nu vigtigt at gøre sig klart, at selv om Bethes teori er baseret på de grundlæggende kvantemekaniske ligninger, så er den ikke eksakt, men en såkaldt perturbationsteori, der forudsætter, at vekselvirkningen mellem partiklen og elektronerne er blid. Det er den netop for hurtige partikler med en lille elektrisk ladning som elektroner, protoner og α -partikler.

Tunge ioner

Dette fik praktisk betydning efter opdagelsen af kernespaltningen i 1938. Som resultat af en kernespaltning finder man ud over neutroner to tunge kerner med en betydelig energi. Ved Bohrs institut på Blegdamsvej i København brugtes den nyligt byggede cyklotron til at undersøge spor af spaltningsfragmenter i et tågekammer. I to korte men vægtige arbejder fra 1940 og 1941 påpegede Niels Bohr betydningen af klassisk teori for nedbremsningen af disse partikler. Hurtige partikler kan både tabe og indfange elektroner på vej gennem et medium. Bohr konkluderede, at spaltningsfragmenters elektriske ladning afhang af hastigheden og derfor måtte variere langs banen.

Undersøgelsen af kernespaltningen spillede en vigtig rolle på Blegdamsvej i mange år, men i nærværende sammenhæng er det først og fremmest N. O. Lassens arbejde, der skabte et nyt forskningsområde, atomfysikken for hurtige, tunge ioner, som nutildags praktiseres ved nogle kæmpe-acceleratorer i USA, Tyskland, Japan, Kina og Rusland. Bl.a. opdagede Lassen, at spaltningsfragmenternes ladning var signifikant højere i et kompakt materiale end i en luftart. Det gav anledning til, at Niels Bohr sammen med Jens Lindhard som sin sidste videnskabelige publikation udgav en artikel, der skulle forklare dette fænomen. Det gjorde den faktisk, men det er man først blevet sikker på i de seneste år. En af vanskelighederne bestod i at forklare, hvorfor den nævnte forskel i ionladningen ikke syntes at medføre en tilsvarende forskel i nedbremsningen.

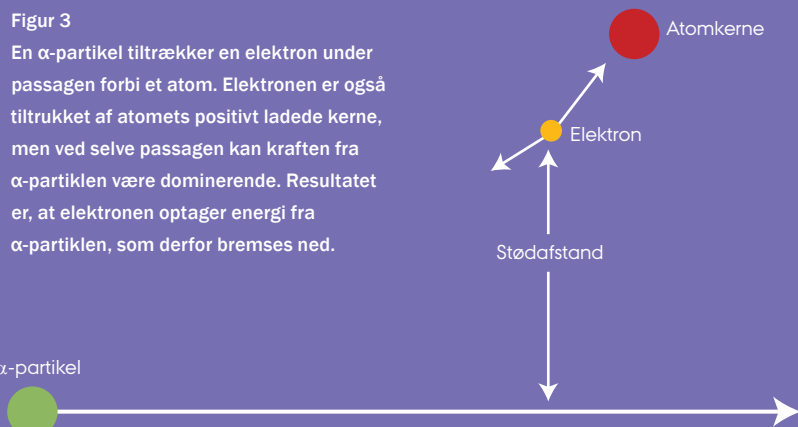
Videre læsning

Processen med at udvikle en nedbremsningsteori for tunge ioner er beskrevet i:
P. Sigmund: Niels Bohrs teori for α -partiklers nedbremsning i stof i et moderne perspektiv. KVANT 12, 1321-1324 (2001)

Figur 3

En α -partikel tiltrækker en elektron under passagen forbi et atom. Elektronen er også tiltrukket af atomets positivt ladede kerne, men ved selve passagen kan kraften fra α -partiklen være dominerende. Resultatet er, at elektronen optager energi fra α -partiklen, som derfor bremses ned.

α -partikel



Figur 4

Ligesom Bohr fik Bethe nobelprisen, men ikke for sin nedbremsningsteori fra 1930, som han endnu i en høj alder anså som sin bedste publikation. Han fik derimod prisen for at have opdaget, hvordan Solen producerer energi.

Foto: Los Alamos National Laboratory

Aarhus-skolen

Målingerne af spaltningsfragmenternes nedbremsning inspirerede to unge fysikere på instituttet på Blegdamsvej, Jens Lindhard, der siden blev professor ved Aarhus Universitet, og Morten Scharff, til at starte forfra med en teori, der skulle gælde specielt for tunge ioner med energier svarende til spaltningsfragmenternes og derunder. Det tog nogle år at få resultaterne publiceret, da Scharff døde alt for tidligt.

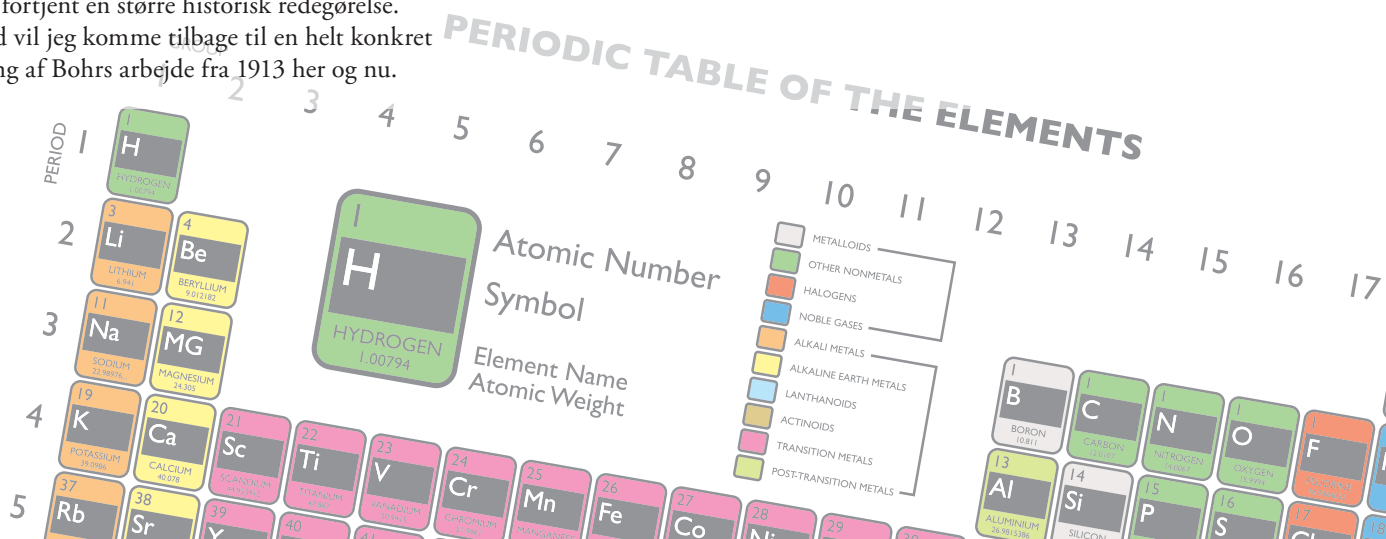
De tre arbejder mellem 1963 og 1968, skrevet sammen med Hans E. Schiøtt, Poul V. Thomsen og Vibeke Nielsen, hører til de højest citerede inden for dansk fysik. De udkom på det helt rigtige tidspunkt, hvor man fandt ud af, at forholdsvis små acceleratører, som man havde udviklet for at studere atomkerner, var blevet uinteressante til det oprindelige formål, men udmærket kunne bruges i mikroelektronikken og en hel stribe andre højteknologiske områder.

Lindhards virke i Aarhus gav anledning til en meget frugtbar periode for både den eksperimentelle og den teoretiske fysik, som også havde udløbere til København, Risø og Odense. Det ville føre alt for vidt at komme nærmere ind på det område, som har fortjent en større historisk redegørelse. Derimod vil jeg komme tilbage til en helt konkret betydning af Bohrs arbejde fra 1913 her og nu.

Et bidrag fra Odense

Jeg blev på et tidspunkt kontaktet af den internationale strålekommission ICRU, som var interesseret i at udgive en certificeret tabel over tunge ioners nedbremsningsevne. Jeg overbeviste mig hurtigt om at eksisterende tabeller var baseret på utilstrækkelig teori, og at en brugbar teori måtte udvikles, hvilket ville kræve tid. Problemet var, at Bethes kvanteteori havde været så overvældende en succes for lette partiklers vedkommende, at de fleste ikke kunne forestille sig at den ikke også gjalt for tunge ioner.

Jobbet indebar to hovedopgaver. Den ene var udviklingen af en nedbremsningsteori, der gav brugbare forudsigelser for ioner og materialer, der dækker over hele det periodiske system. Denne opgave blev løst over en årrække. Den anden opgave var at overbevise eksperter og brugere om, at Bohrs klassiske teori fra 1913 var et bedre udgangspunkt end Bethes kvanteteori fra 1930. Det var ikke et problem over for fysikere i Danmark, hvor først Niels Bohr og siden Jens Lindhard havde gjort forarbejdet. Men forskere og brugere ude i verden måtte overbevises ved teoriens resultater. Det lykkedes ved at producere et stort antal figurer af den type, der er vist i figur 5.



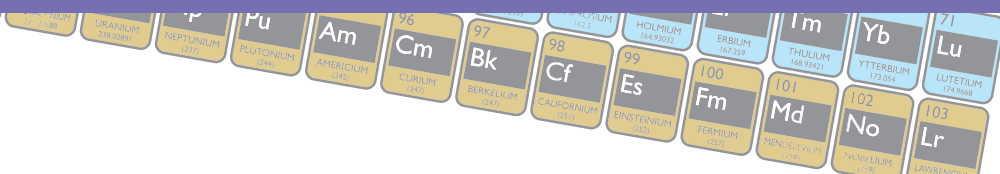
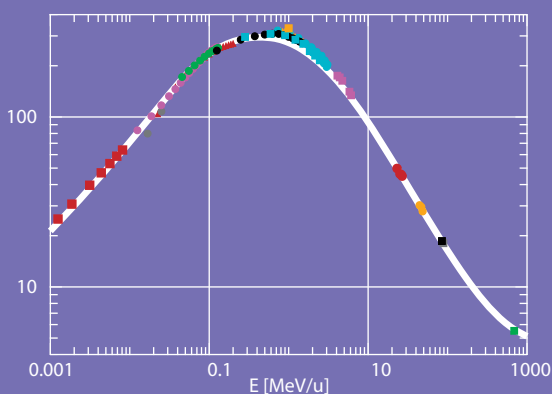
Figur 5

Energitab pr vejtlængde over et meget stort energi-interval, illustreret for ilt-ioner i aluminium. Punkterne repræsenterer målepunkter fra 16 forskellige laboratorier.

Linjen repræsenterer Niels Bohrs nedbremsningsteori, suppleret med korrektioner, som ikke var kendt ved Bohrs tid og ej heller var væsentlige i de anvendelser, teorien var udviklet til.

Figur fra P. Sigmund & A. Schinner, Nucl. Instrum. Methods B 195, 64-90 (2002).

Målepunkter fra 16 laboratorier
 $S [10^{-15} \text{ eVcm}^2]$



Fosterlivet kan bestemme

Dit barn bliver hvad du spiser. Det er den radikale omskrivning af, at det har vist sig, at fosterets ernæring under graviditeten kan have stor betydning for, om barnet bliver genetisk disponeret for at udvikle en række livsstilssygdomme.

Forfattere



Mette Olaf Nielsen,
lektor,
mette.olaf.nielsen@sund.ku.dk



Anna Hauntoft Kongsted,
Post doc,
ahtp@sund.ku.dk

Begge ansat ved Institut for Klinisk Veterinær- og Husdyrvidenskab, Ernæring, fysiologi og biokemi Københavns Universitet.

For ca. 20 år siden offentliggjorde den engelske professor David J. Barker og kolleger nogle interessante observationer, som vendte op og ned på vores opfattelse af, hvilken betydning udviklingen før fødslen har for et menneske resten af dets liv.

Indtil da troede man, at arveanlæggene (generne), som vi får fra vores forældre ved undfangelsen, styrer hvordan vi ser ud ved fødslen, og hvor robuste vi er overfor de forskellige miljøpåvirkninger, vi kan blive udsat for efter fødslen.

Barkers forskergruppe viste, at det forholder sig helt anderledes. Hvis et foster fejler nærs eller udsættes for andre uheldige miljøpåvirkninger, kan det betyde, at arveanlæggene så sige bliver "omprogrammerede". Denne programmering kan således gøre det lettere for individet at overleve, da programmeringen netop sørger for, at individet tilpasses til det miljø, det skal leve i.

Er der fx tale om underernæring, vil fostervæksten reduceres for at sikre vækst af de mest vigtige organer som hjerne og hjerte. Der kan også forekomme såkaldt insulin-resistens, som gør, at sukkeret optages langsommere i vævene, eftersom insulin er nødvendig for denne optagelse. I hjernen derimod, er insulin ikke påkrævet for at sukkeret kan optages, så insulinresistens i vævene er dermed en meget hensigtsmæssig overlevelseseffekt ved fødemangel, da hjernen ikke kan fungere uden sukker i længere periode. De fleste andre væv derimod fungerer fint på andre energikilder såsom fedt og ketonstoffer, hvor sidstnævnte dannes under faste.

Omprogrammering med bivirkninger

Føtal programmering kalder man denne omprogrammering af generne på fagsproget. Bagsiden af medaljen er, at den hensigtsmæssige omprogrammering kan vise sig som en ulempe senere i livet.

Det nyfødte barn, som har været udsat for underernæring i fosterlivet, har som oftest en signifikant nedsat fødselsvægt og et relativt større hoved end det normale barn – fordi hjernen er blevet udviklet på bekostning af kropsvækst generelt. Det har vist sig, at disse lav-fødselsvægt individer har en markant øget risiko for at udvikle livsstilssygdomme, såsom fedme, type 2-diabetes (gammelmands sukersyge), hjerte-kar-sygdomme og nyresygdomme. Et tydeligt eksempel stammer fra Holland, hvor børn født under anden verdenskrig i Holland i 1944/45 i markant grad har udviklet hjertekarsygdomme og type-2 diabetes senere i livet. Årsagen er, at Holland i slutningen af krigen blev afskåret fra fødevarerforsyninger fra omverdenen, og der udbrød derfor hungersnød, hvor hollænderne måtte overleve på et gennemsnitligt fødeindtag på kun 500 kcal/dag (mod et normalt minimumindtag på cirka 2.000 kcal/dag), hvilket også gjaldt gravide kvinder.

Underernæring og overernæring

200-300 gram er alt der skal til! Hvis et nyfødt barn vejer 200-300 gram mere eller mindre end den normale fødselsvægt, som er ca. 3500 gram, er der en risiko for, at dette barn som foster har haft en uheldig føtal programmering. Dette skal selvfølgelig sættes op imod moderens højde og drøjde og hvad hendes egen fødselsvægt var – altså barnets normale vækstpotentiale.

Ifølge verdenssundhedsorganisationen WHO fødes der årligt 30 millioner børn med lav fødselsvægt. Det er næsten en fjerdedel af alle fødte børn på verdensplan. Problemet med lav fødselsvægt er højest i udviklingslandene, hvor mange mennesker, også gravide kvinder, er kronisk underernærede. Forekomsten af livsstilssygdomme har i sagens natur hidtil været ret begrænset i udviklingslandene. Men i de lande, som de senere år har oplevet en stor økonomisk fremgang og forbedret levestandard (såsom

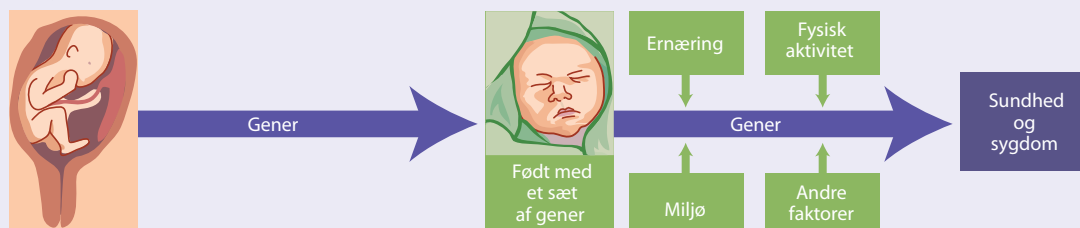
dit helbred



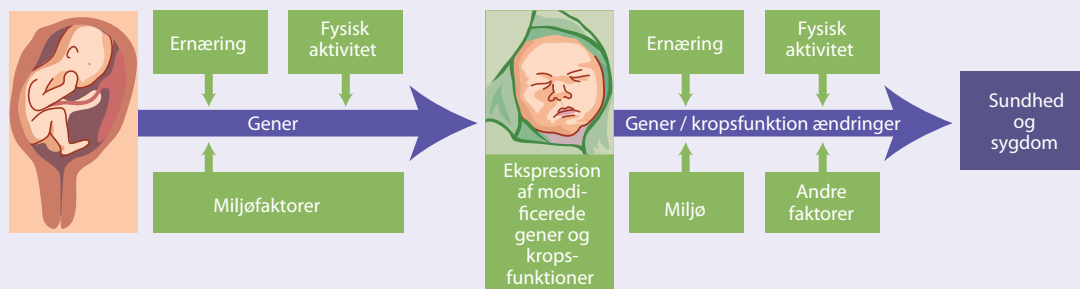
Foto: Colorbox.

Et fosters føtal efter det nye og det gamle koncept

Det gamle koncept



Det nye koncept



I Danmark har omkring 35 pct. af alle nyfødte en fødselsvægt, der afviger mere end 500 gram fra den normale vægt hos nyfødte. Der er en vis sandsynlighed for, at disse børn kan have været igennem en uheldig føtal programmering, der øger risikoen for, at børnene udvikler livsstilssygdomme senere i livet.

Videre læsning

Almond D and Currie J (2011): Killing Me Softly: The Fetal Origins Hypothesis. *J Econ Perspectives* 25, 153-172.

Barker DJ (2004): Developmental origins of adult health and disease. *J Epidemiol Community Health* 58, 114-115.

Barker DJ, Osmond C, Golding J, Kuh D and Wadsworth ME (1989a): Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. *Brit Med J* 298, 564-567.

Barker DJ, Osmond C, Law CM (1989b): The intrauterine and early postnatal origins of cardiovascular disease and chronic bronchitis. *J Epidemiol Community Health* 43, 237-240.

Tal om fødselsvægt kan findes på Statens Institut for Folkesundheds hjemmeside www.si-folkesundhed.dk

WHO (2012) om ernæring og lav fødselsvægt: www.who.int/nutrition/topics/feto_maternal/en/index.html

Indien og Kina) oplever man, at antallet af overvægtige og type 2-diabetikere nærmest er eksploderet, fordi befolkningerne både er begyndt at spise større mængder mad og mere usund mad. Det har skabt en situation, hvor der er et "mismatch" mellem den faktiske levestil og de forhold kroppen populært sagt er blevet programmeret til.

Mange børn fødes også fejlnærede i den vestlige verden, men her er det især en for høj fødselsvægt, der er problemet. De nyfødte børns høje vægt skyldes som regel enten, at moderens kost har været ubalanceret, at hun har været overvægtig før eller under graviditeten, eller at hun har udviklet graviditetssukkersyge. Ligesom en lav fødselsvægt kan være tegn på føtal programmering og dermed medføre livsstilssygdomme senere i livet, kan en høj fødselsvægt give tilsvarende problemer.

Konsekvenserne af fejlnæring i fosterlivet lader til at blive særlig alvorlige, hvis man efter fødslen spiser for meget af den usunde fede kost, der i sig selv øger risikoen for at udvikle fedme, type 2-diabetes osv. Måske sker det, fordi den føtale programmering svækker kroppens evne til at forhindre udvikling af den type sygdomme.

Omfattende konsekvenser

Det er økonomer, der i de seneste år har leveret den mest overbevisende dokumentation for, at vi bør tage føtal programmering meget alvorligt. Miljø-

påvirkninger i fosterlivet er nemlig forbundet med negative konsekvenser senere i livet, ikke bare for sundhed, men også for eksamensresultater i skolen, uddannelsesniveau, livsindkomst samt evnen til at etablere sunde sociale relationer til andre mennesker. Det skyldes, at programmeringen kan forårsage ændringer i forskellige centre i hjernen, som styrer vigtige funktioner som indlæring og sociale kompetencer.

Konsekvenserne af føtal programmering er derfor vidtfavnende og af stor sundhedspolitisk betydning. Hvis man derfor vil give børn bedre muligheder i livet og bryde en eventuel "miljøarv", bør man sætte ind allerede før børnene bliver født. Den bedste forebyggelse er en afbalanceret og varieret kost og at undgå for store vægtudsving, ikke mindst under graviditeten.

Men det er selvfølgelig ikke en let opgave at ændre folks kostvaner! Målttede sundhedsreformer kunne som minimum sikre, at befolkningen bliver tilstrækkeligt informeret og vejledt, så den enkelte borger har et godt grundlag for at tage et personligt ansvar. Derudover bør der stilles skrappe krav både til fødevareproducenter og mærkning af produkter, så det fx ikke er i orden at kalde en dessert for morgenmad. ■

Får fortæller om føtal programmering

Man foretager bl.a. i Danmark eksperimenter på får, for at få mere viden om føtal programmering. Får er velegnede til denne type forskning, fordi deres fostres udvikling ligner den udvikling, et menneskefoster gennemgår: Får har en lang drægtighedsperiode, de får i hovedreglen 1-2 afkom med en fødselsvægt svarende til menneskets (3-4kg) og når de er udvoksede har de en vægt sammenlignelig med menneskets (60-80kg). Der skal endvidere ret ekstreme forhold til, før et får aborterer, hvilket er en klar fordel i sådanne eksperimenter, hvor man netop undersøger, hvad manipulationer før fødslen har af konsekvenser på længere sigt.

Ved at begrænse moderfårenes adgang til føde eller modsat lade dem overspise, kan man få nogle mål for, hvordan vi påvirker vores børn på lang sigt. Sådanne dyreforsøg har vist, at moderens ernæring forårsager ændringer i afkommet fysisk, men også hormonelt, og at disse ændringer er blivende. Heldigvis er det dog sådan, at risikoen for alvorlige sygdomme primært er til stede såfremt afkommet i sit efterfølgende liv lever et usundt liv med for meget sukker og fedt.





TA' HUL PÅ DIN FREMTID



Se film om 22 natur- og biovidenskabelige uddannelser på **www.science.ku.dk/film**

Bacheloruddannelser på Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet:

Biokemi
Biologi
Biologi-bioteknologi
Datalogi
Forsikringsmatematik
Fysiske fag
Fødevarevidenskab
Geografi & geoinformatik

Geologi-geoscience
Have- og parkingeniør
Husdyrvidenskab
Idræt
Jordbrugsøkonomi
Kemiske fag
Landskabsarkitektur
Matematik

Matematik-økonomi
Molekylær biomedicin
Nanoscience
Naturressourcer
Naturvidenskab og it
Skov- og landskabsingeniør



Dannelsen af skyer er en af de store ubekendte faktorer i klimasystemet. Men for at undersøge dem skal man ikke nødvendigvis stige til vejrs. Man kan også tage langt ned under jorden.

Rejsen under jorden



Forfatter



Jens Olaf
Pepke
Pedersen,
seniorforsker

DTU Space,
jopp@space.dtu.dk

En af de ældste danske romaner er *Niels Klims underjordiske rejse*, som Ludvig Holberg udgav i 1741 på datidens verdenssprog latin. Bogen fortæller historien om den nyuddannede teolog Niels Klim, der under udforskningen af en hule i Bergen falder ned i Jordens underverden. Her begynder hovedpersonen en forunderlig rejse gennem Jordens indre, som Holberg har befolket med en række besynderlige og sære folkeslag. Holberg havde dog næppe forudset, at vi i vores generation faktisk kan finde små underjordiske samfund i form af forskere, der arbejder i dybtliggende laboratorier verden over. En af faciliteterne er det britiske *Boulby Underground Laboratory*, som ligger i 1100 meter under jorden, og det blev min og min kollega Martin Eng-hoffs arbejdsplads i en lang række perioder (typisk på 1-2 uger) fordelt over halvandet år.

Fysikere i kaliumminen

Boulby, der som navnet antyder, har haft tidlige besøg af danskere, ligger ved den engelske Nordsø-kyst omkring 50 km syd for Newcastle og er hjem-

sted for en kommerciel kaliummine. Siden 1973 har mineselskabet Cleveland Potash udvundet kaliumklorid (en type potaske), og minen producerer nu over halvdelen af det kalium, der bruges til gødning i Storbritannien, og derudover en stor mængde til eksport. Potasken er oprindeligt aflejret sammen med salt i forbindelse med fordampningen af en stor saltsø, der for omkring 200 millioner år siden dækkede et område omkring det nuværende Nordsøen og Østersøen. Siden er saltlagene begravet under andre aflejringer, så de i dag ligger op til 1,5 km under overfladen, og en stor del af udvindingen foregår nu mange kilometer ude under Nordsøen.

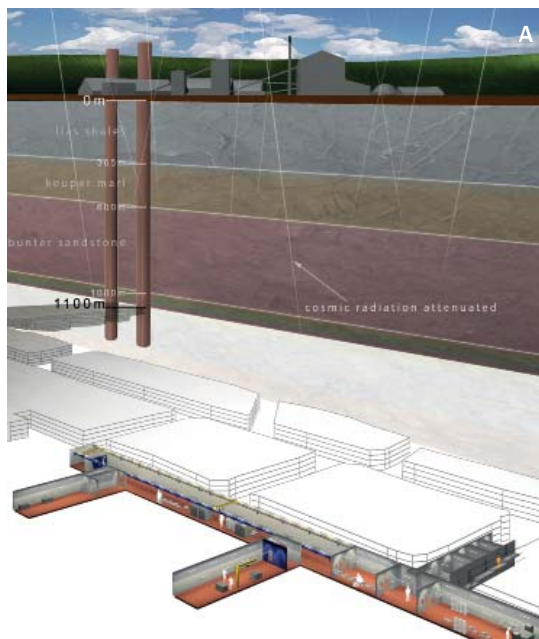
Mineselskabet har stillet en nedlagt minegang til rådighed for opbygningen af et laboratorium, der i 10 år har været hjemsted for astrofysiske forskergrupper, som har ledt efter det mystiske mørke stof, som en stor del af universet menes at bestå af. En af kandidaterne til mørkt stof er "WIMP"s – Weakly Interacting (svagt vekselvirkende) Massive Particles, som omfatter flere mulige partikler, herunder en

kandidat med navnet neutralino, som igen findes i flere varianter, og hvoraf den letteste har den tiltalende egenskab, at den er stabil og – i hvert fald i nogle modeller – er produceret i det tidlige univers. Desuden vekselvirker den kun med andre partikler via tyngdekraften og de svage kernekrafter, hvilket også passer på karakteristikken af det mørke stof.

Hvis WIMPs skulle vise sig at eksistere, betyder den svage vekselvirkning med normalt stof, at det vil være ekstremt vanskeligt at finde dem i eksperimenter, og derfor er det en stor fordel at gå under jorden, hvor den generende baggrund fra kosmiske partikler for eksempel i Boulby-laboratoriet er reduceret næsten en million gange.

Fri for kosmiske partikler

Netop muligheden for at slippe af med en baggrund af kosmiske partikler var også vores motivation



A. Illustrationen viser bygningerne med to skakter, hvoraf den ene bruges til mandskab og udstyr og det andet til at hente potaske op.

B. Bygningerne til Cleveland Potaske.

C. Transport til laboratoriet foregår sammen med minearbejderne.

D. Laboratoriet under jorden.



Foto: DTU



Foto: DTU

for at benytte det underjordiske laboratorium. I en årrække har vi studeret, hvordan kosmiske partikler medvirker til at danne aerosoler og dermed skyer i atmosfæren, og vi har udført eksperimenter, hvor vi simulerer de kosmiske partikler, for eksempel ved hjælp af hurtige elektroner. Vi har imidlertid ikke nogen kontrol over de naturlige kosmiske partikler, som konstant kommer ned til os fra verdensrummet, og tilmed har så stor energi, at de trænger flere hundrede meter ned i undergrunden, og dermed også permanent bestråler vores opstilling i laboratoriet i kælderen på DTU Space.

Ved at kunne "slukke" helt for de kosmiske partikler ville vi derfor få en enestående mulighed for præcist at skelne deres rolle i dannelsen af aerosoler i atmosfæren fra alternative mekanismer, som ikke involverer de kosmiske partikler. I princippet (som med så mange andre eksperimenter) et meget enkelt forsøg, men i praksis skulle det vise sig at være en hel del mere besværligt at arbejde 1100 meter under jorden i forhold til vores normale kælderlaboratorium.

Fysikere og minearbejdere

Et af problemerne er således blot at komme frem til laboratoriet. Minen har to skakter, hvoraf den ene bruges til mandskab og udstyr, den anden til at hente potasken op. Transporten sker ved hjælp af to elevatorer, der hænger i samme kabel, når den ene kører ned, kører den anden op. Eftersom minen er i drift og vi helst ikke skal forstyrre produktionen, kører vi ned og op igen sammen med minearbejderne. Det betyder, at man normalt kun kan komme ned på et tidspunkt omkring kl. 8.30 om morgenen og op igen ved 17-tiden om eftermiddagen.

Nedturen foregår i buldrende mørke og varer små ti minutter. Stemningen er gerne koncentreret og fåmælt, men når arbejdsdagen er slut, er stemningen en del mere løssluppen hos minearbejderne, hvor turen op igen er en oplagt anledning til at drille forskerne.

Umiddelbart ligner vi minearbejdere, for vi er alle klædt i de samme orange overalls og sorte støvler samt udstyret med samme hjelm, lamper og sikkerhedsudrustning, men efter en lang arbejdsdag, kan man alligevel nemt se, hvem der har tilbragt dagen inden i et airconditioneret laboratorium, og hvem, der har arbejdet med boremaskinerne i kaliumlagene, hvor den naturlige temperatur ligger på omkring 42 grader. I mange af minearbejdernes øjne sidder forskerne i årevis i et meget rent rum og drikker kaffe, mens de bruger løs af skatteydernes penge og foregiver at lede efter mørkt stof. Alligevel er de nysgerrige efter at finde ud af, hvad der foregår i laboratoriet, og vi blev som regel spurgt mindst en gang på hver tur, om vi nu havde fundet noget mørkt stof i dag. Det måtte vi desværre altid benægte, men det var naturligvis en anledning til at gengælde interessen og høfligt spørge, om de måske var stødt på noget potaske.

I laboratoriet

Fra elevatorskakten har minearbejderne en længere køretur til deres arbejdsplads under Nordsøen, men vi går de 800 meter gennem de mørke minegange til laboratoriet. Tunellerne er bygget i lag af stensalt, og brede nok til, at to landrovere kan passere hinanden, så turen er ikke specielt klaustrofobisk. Men de første mindst 50 gange skal man ledsages på vejen, da der med det labyrintiske net af minegange, som er mere end 1000 km langt, er gode muligheder for at fare vild. Kraftige ventilatorer sender konstant frisk luft ned i gangene, og om foråret kan der endda lugte ganske landligt, omend man altid har en svag smag af salt på læberne fra det saltholdige støv, der ligger overalt.

Når man er fremme ved laboratoriet og får blæst støvet af tøj og sko, samt via en sluse bliver klædt om til en rentrumsdragt, og der er adgang til både telefon og internet, kan man dog hurtigt glemme, at man befinder sig en kilometer under jorden. I hvert fald lige indtil det tidspunkt, hvor man savner noget udstyr, som ligger på overfladen eller opdager, at man har glemt sin madpakke.

Bly og kokosnødder

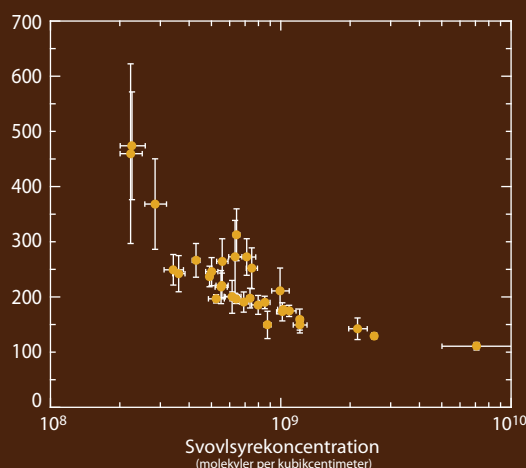
Selvom laboratoriet med hensyn til de kosmiske stråler er et af de mest stille steder i universet, er der til gengæld en svag baggrundsstråling fra radioaktive stoffer i undergrunden, som vil genere eksperimentet. Det er imidlertid en stråling, som man kan beskytte sig imod, og astrofysikerne, som med deres mørkt-stofeksperimenter har stor erfaring med den slags, havde også lovet at forsyne os med bly- og kobberklodser til at bygge en afskærmning omkring vores opstilling. Hvad de ikke havde fortalt var, at materialerne havde ligget i en minegang i flere år, så de første 14 dage under jorden foregik med at skrubbe og skure flere ton bly og kobber. Det var nok allede her, vi kom i tvivl om, hvorvidt det var et privilegium eller en straf at få adgang til at arbejde under jorden.

Radon udgjorde et særligt problem, som også ville forstyrre eksperimentet, og her kunne astrofysikerne oplyse, at aktivt kul nedkølet med flydende kvælstof var særlig velegnet til at filtrere radon. Og for yderligere at undgå radioaktivitet fra de aktive kul, anbefalede de kul fremstillet af kokosnødder fra Sri Lanka, som udmærker sig ved en særligt lav naturlig radioaktivitet.

Resultater fra minen

I eksperimentet i minen simulerede vi i et reaktionskammer produktionen af aerosoler, som kondenserer fra vanddamp og svovlsyredampe, som også menes at være en vigtig kilde til aerosoler i den rigtige atmosfære. Ved hjælp af vores egne

Øget aerosolproduktion (%)



Figuren viser på X-aksen svovlsyrekoncentrationen i reaktionskammeret. Y-aksen viser, hvor meget ionerne forøger aerosolproduktionen i forhold til neutrale partikler alene. I Jordens atmosfære vil svovlsyrekoncentrationerne typisk være en størrelsesorden lavere end i eksperimenterne.

radioaktive kilder kunne vi "tænde" og "slukke" for ionerne i reaktionskammeret. Eksperimentet viste nu, at selvom vi fjerner stort set alle ioner fra vores reaktionskammer, så foregår der stadigvæk en betydelig aerosolproduktion fra neutrale mekanismer, som dermed ikke kan have noget med den kosmiske stråling at gøre, men vi kunne også se, at når vi tilsatte ioner, steg produktionen af aerosoler.

Ud fra målingerne kunne vi desuden konkludere, at ionerne bidrager til aerosolproduktionen på flere måder: For at klumpe sig sammen til en aerosol skal de deltagende molekyler først overvinde en potentialbarriere, og her hjælper ionerne molekylerne med at komme over barrieren, og holde aerosolen samlet. Men herefter hjælper ionerne også aerosolerne med at vokse hurtigere lige efter, at de er dannet, og det reducerer risikoen for at de falder fra hinanden igen. Begge dele gør det således mere sandsynligt, at en aerosol vil overleve, hvis der har været en ion involveret.

Ionernes rolle – som også var forudsagt inden eksperimentet – kan forklares med, at både svovlsyre- og vandmolekyler er polære molekyler, hvilket vil sige at de har en meget ujævn ladningsfordeling. Derfor vil en positiv ion tiltrække den nega-

Eksperimentet

Ved overfladen producerer den kosmiske stråling og andre radioaktive kilder hvert sekund ca. to ionpar i hver kubikcentimeter af vores reaktionskammer, men i minen lykkedes det at få reduceret strålingen så meget, at ionproduktionen faldt med næsten tre størrelsesordener til mindre end 0,003 ionpar per kubikcentimeter per sekund. Det blev derfor muligt at lave meget fine sammenligninger mellem de ion-inducerede og de neutrale aerosolmekanismer (se boks).

En begrænsning i eksperimentet var størrelsen af vores reaktionsvolumen på 50 liter, som betød, at vi for at få et tilstrækkeligt stort signal måtte arbejde med højere koncentrationer af svovlsyre end i den naturlige atmosfære. Vi konstaterede dog, at desto tættere vi kom på en realistisk atmosfæresammensætning, desto større blev effekten af ionerne. Ved de laveste svovlsyrekoncentrationer i eksperimentet gav ionerne næsten en femdobling af aerosolproduktionen, så i de områder af Jordens atmosfære, hvor luften er meget ren, hvilket vil sige over de store oceaner, forventer vi, at ionerne helt vil dominere produktionen af små aerosoler. Resultatet har også motiveret os til at vende tilbage til laboratoriet med et større reaktionskammer på omkring 1.000 liter, som blev fremstillet i i England sidste år og nu ved at blive afprøvet på DTU Space.

Tilbage til Boulby

Det nye reaktionskammer, som er finansieret af Forskningsrådet for Natur og Univers, vil gøre det muligt at opnå forhold, der både temperaturmæssigt og koncentrationsmæssigt er tæt på forholdene over verdenshavene, og hvor vi samtidig kan se aero-

solerne vokse i længere tid. Samtidig har vi etableret et større samarbejde med nye britiske partnere, der omfatter universiteterne i Sheffield, Manchester, Birmingham og Oxford, og disse partnere vil deltage i eksperimenterne med ekspertise og udstyr, som vi ikke selv råder over.

Planen er at vende tilbage under til Boulby i 2014, og det bliver helt sikkert med Niels Klim i håndbagagen. Holberg skrev bogen mens han var professor ved Københavns Universitet, og han ønskede blandt andet at udfordre datidens faste forestillinger om samfundets indretning. Selvom bogen er skrevet for mere end 270 år siden, er den imidlertid stadig aktuel, og mange læsere vil utvivlsomt kunne nikke genkendende til bogens kritik af den konstante stræben efter forandring, hvor vi i stedet for besindig omtanke kaster os ud alskens projekter, eller som Holberg i beskrivelsen af et af de underjordiske samfund sarkastisk skriver: »Den Anseelse, Projektmagere her staae i, gaaer over al Forestilling, og jo urimeligere og umueligere et Forslag er, jo sikkrere er det paa almindeligt Bifald.«

Videre læsning

Pedersen, J.O.P. m.fl.: Kosmiske Partikler og skykim, *Aktuel Naturvidenskab*, 2011 nr. 6, side 10

Pedersen, J.O.P.: Solaktivitet og klimaændringer, *Kvant*, 22, årg, 2011, nr. 4, side 22,

Pedersen, J.O.P. m.fl. Aerosol nucleation in an ultra-low ion density environment, *Journal of Aerosol Science*, bind 50, 2012 side 75-85

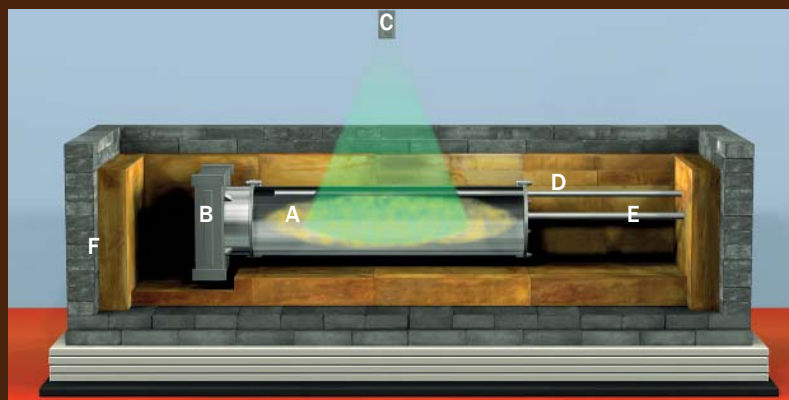


tive ende af svovlsyre- og vandmolekylerne, og sørge for at de kommer tættere på hinanden. Det øger chancen for at få dannet en aerosol, og for at den vokser i de førte kritiske faser af dens tilværelse. Men efterhånden som aerosolen bliver større, får det mindre betydning, at den har en ladning. Eksperimentet viste i øvrigt også, at det udover vand kun kræver et eller to svovlsyremolekyler at få dannet en aerosol under de betingelser, vi havde i reaktionskammeret.

Forsøgsopstillingen i minen i Boulby

Med regelmæssige mellemrum renses kammeret ved at strømme høje ozonkoncentrationer gennem kammeret samtidig med at det konstant belyses med UV-stråling.

- A Reaktionskammeret
- B Lyskilde til ultraviolet lys, der simulerer en del af solstrålingen
- C Radioaktiv cæsium-137 kilde, der simulerer den kosmiske stråling
- D Rør til indblæsning af gasblanding
- E Udtag til analyseinstrumenter
- F Afskærmning af bly (yderst) og kobber (inderst)



A. Indvielse af et nyt reaktionskammer på DTU Space, 31. januar 2013.

Foto: DTU.

B. På arbejde i laboratoriet.

Foto: DTU.



FAGLIGE OPLÆG

BOOK EN INGENIØRSTUDERENDE TIL DIN UNDERVISNING.

Fremtidens it og udvikling: Hør og se, hvordan vi i semesterprojekter laver brugercentreret software-udvikling og appletter til en tablet eller smartphone vha. et prototypeværktøj. Vi viser, hvordan vi bruger softwareudviklingsmetoder, programmering og informationsteknologi til udvikling af software.

Fysik, akustik, optik og nanoteknologi: Lad en studerende perspektivere din matematik- og/eller fysikundervisning med oplæg om nanoteknologi, elektronmikroskopi, optisk interferens og diffraktion, laserteknologi eller anvendt matematik til fx at beskrive stående bølger i en aluminiumspind.

Innovation and Business: Få indblik i entreprenørskab og innovation. Med udgangspunkt i et aktuelt virksomhedsprojekt fortæller studerende om produktudviklingsprocessen fra idégenerering af ny teknologi, over forretningsstrategi og produktionsplanlægning til lancering af produktet på det globale marked.

Kemi og bioteknologi: Hør og se, hvordan de studerende anvender kemisk viden til at opgradere biogas til naturgas-kvalitet, brygger øl eller

producerer biodiesel ved brug af frie enzymer. Oplæggene perspektiverer bl.a. fermentering, mikroorganismer, enzymatiske processer og membranteknologi.

Matematik, idræt og teknik: Hør mere om hvordan matematikkens begreber kombineret med viden om anatomi og fysiologi kan føre til produktudvikling for sundhedssektoren. Oplægget kan bl.a. komme ind på forholdsregninger og elementære funktioner som fx cosinus og sinus.

Ovenstående er eksempler på oplæg. Se alle oplæg på:

www.sdu.dk/tekforedrag

Kontakt os for nærmere information eller bookning af oplæg
Dorte Frølund Kromann på
Mail: dfk@tek.sdu.dk eller
Tlf: 6550 7522



TIVOLI
.....

LÆRINGSKURVE PÅ

50

**NYHED I 2013:
MODTAG
UNDERVISNING AF
SKOLETJENESTEN
I TIVOLI HELE
SÆSONEN**

FAGLIGE DAGE I TIVOLI GIVER STEJL LÆRINGSKURVE HOS DINE ELEVER

4.-6. KLASSER: 6/5-31/5 2013 · 7.-10. KLASSER OG GYMNASIER: 26/8-20/9 2013

Hvad sker der med din puls, når du suser 63 meter ned i det Gyldne Tårn? Vejer du det samme på vej op i Ballongyngen, som du vejer på vej ned? Hvor hurtigt svømmer fiskene og hvor meget energi bruger forlystelserne?

Dét og meget andet skal dine elever udforske, måle sig til og gøre rede for til Faglige Dage i Tivoli. Opgaverne lever op til Undervisningsministeriets Fælles Mål. Faglige Dage i Tivoli bliver til i samarbejde med Skoletjenesten.

PRIS 50 KR. PR. ELEV INKL. ENTRÉ OG TURPAS

TILMELD DIN KLASSE OG LÆS MERE PÅ WWW.TIVOLI.DK/SKOLER

Træning, robotter og

Træningsrobotter er et lovende redskab til genoptræning af patienter med lammelser. En af udfordringerne er, at det kan være svært at motivere folk til at træne maksimalt, når træningspartneren er en robot, der aldrig bliver træt. Men det kan løses med computerkode, der overtrumfer den indre komfortdjævel.

Forfatter



Anders Stengaard Sørensen, civilingeniør, ph.d. i datateknologi
Syddansk Universitet,
anss@mmmi.sdu.dk

»Aaahhhrrrr – det er godt nok hårdt,« lyder det fra Jesper. »Det er første gang i fire år, jeg kan mærke den muskel,« fortsætter han, mens han bevæger sin venstre arm op og ned i en cirkelbevægelse. Scenen minder om et træningscenter, bortset fra et par detaljer: Den arm, Jesper bevæger, er lam, vi befinder os på 1. sal i robotlaboratoriet på Syddansk Universitet (RoboLab), og jeg er ikke træningsinstruktør, men ekspert i robot-elektronik. Og vigtigst af alt: Jesper holder fast i en robot, der er designet, så han kan træne på trods af den lammelse, han fik i venstre arm, da han kolliderede med en lastbil for mere end fire år siden.

Efter 30 gentagelser er Jesper ved at være træt, så jeg skynder mig at filme en kort video af hans træning, som jeg kan drøfte med mine kolleger senere. Det er torsdag aften, og seancen er kulminationen på lang tids venten på en lejlighed til at teste vores nye træningsrobot sammen med Jesper. Han er glad, nærmest opstemt. »Kan jeg ikke få den med hjem med det samme?« spørger han. Jeg lover, at vi nok skal lave en robot, han kan træne med derhjemme i løbet af vinteren. »Ja, for jeg tror faktisk, at den nye robot kan hjælpe mig med at få gang i skulderen også,« slutter han forventningsfuldt, inden vi skilles.

Aftenen er en succes. Der er godt nok nogle ting, der skal laves bedre, men vi fik vist, at vores nye robot faktisk kan bruges til at træne en næsten lam skulder. Vejen er banet for at undersøge, om skuldertræningen vil være lige så effektiv, som den træning vi allerede har gennemført med overarmen, hvor Jesper genvandt 70 % af sin normale styrke med et halvt års træning.

Fra svejserobotter til genoptræning

For nogle år siden designede jeg elektronik og styring til avancerede svejserobotter på Lindøværftet, hvor jeg ved hjælp af et arsenal af elektroniske måleinstrumenter undersøgte robotens arbejde med

en stålplade. I dag bruger jeg samme teknologi til genoptræning, og når robotten har gjort sin del, undersøger jeg resultatet ved at spørge, hvordan brugeren føler det. Førhen arbejdede jeg sammen med matematikere, fysikere og svejsere for at forstå og styre robotens arbejde. Nu arbejder jeg med læger, fysioterapeuter og psykologer. Førhen gjorde robotten noget *for* mennesket: svejsede. Nu gør robotten noget *ved* mennesket: træner. Eller snarere skulle jeg sige, at den gør noget *med* mennesket, for det, der gør denne træning så effektiv, er, at effekten er et samspil mellem robot og menneske. De træner sammen, og robotten skaber en illusion hos brugeren: En illusion af, at han løfter armen selv, så sveden springer, og der tilsyneladende skabes ny kontakt mellem hjerne og muskel.

Velfærdsteknologi og genoptræning

Det enorme samfundsmæssige fokus på velfærdsteknologi har skabt en masse projekter, der handler om at automatisere service og pleje for mennesker, der er så uheldige at blive syge eller svækkede. Målet er, at samfundet kan yde høj service uden at gå fallit i lønudgifter.

For robotforskere, der er vant til at udvikle fuldautomatiske løsninger til industrien, er det nærliggende at overføre samme princip til service- og plejrobotter, så robotterne overtager alle de funktioner, mennesket ikke længere kan klare selv. I denne proces er der spændende, lærerig og vigtig forskning involveret. Men det er også en meget svær opgave, der kommer til at tage lang tid. Især hvis robotterne også skal være økonomisk rentable for samfundet. Samtidig skal man også overveje konsekvenserne ved at give brugerne for meget service, for jo mere passiv kroppen bliver, jo hurtigere svækkes den, og jo større risiko er der for følgesygdomme. Som en fysioterapeut forklarede mig: »Det gælder faktisk om at lave teknologi, der aktiverer brugerne med de evner, de har tilbage, så de måske endda genvinder tabte evner.«

velfærdsteknologi



Foto: Mikkel Cantoni.

»Altså genoptræning?» konstaterede jeg spørgende på mødet for tre år siden.

RoboTrainer

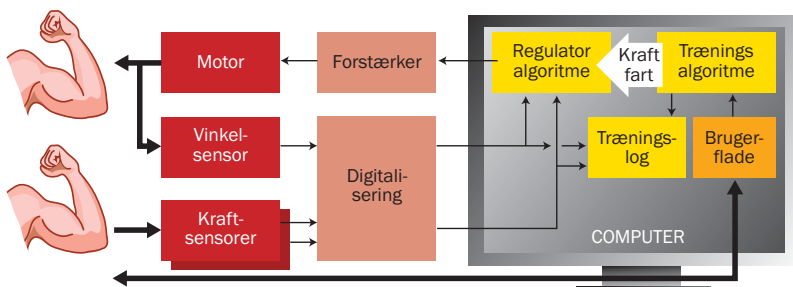
Senere fik jeg kontakt med en tidligere jægersoldat og træningsekspert Allan Lauritzen, der har genoptrænet sig selv efter en meget alvorlig faldulykke. Han foreslog, at vi byggede en robot, der kunne hjælpe ham med at vedligeholde sin træning og hjælpe andre i samme situation. I fællesskab byggede vi forsøgsopstillingen RoboTrainer.

RoboTrainer ligner en klassisk træningsmaskine til overarmens biceps- og tricepsmuskler, men i stedet for at løfte jernvægte har vi en computerstyret motor til at generere kraften. De håndtag, man holder i, er udstyret med finfølelse kraftsensorer, så vi kan måle nøjagtigt, hvor hårdt der bliver trukket i håndtaget. Både op og ned. Hele maskinen styres af en computer, som kan programmeres præcist til det træningsprogram, man ønsker. Vi kan programmere motoren til at trække med en bestemt kraft, hastighed eller lade kraft og hastighed variere afhængigt af, hvad brugeren gør. På den måde

kan RoboTrainer tilbyde alle former for træning til overarmen, fuldstændigt tilpasset brugerens evner og behov: Fra ekstrem styrketræning med mere end 50 kg belastning til genoptræning af folk med lammelser, der ikke kan løfte deres egen arm.

Vi kan ikke træne med personer, der er helt lamme. Men hvis man er i stand til at lave en svag kraft med musklen – bare nogle få hundrede gram – kan vi registrere det, og på den måde lade maskinens bevægelse blive styret af den kraft, brugeren yder. Så selv om nogle hundrede gram langt fra er nok til at løfte armen, kan RoboTrainer registrere det og løfte armen for brugeren. Fordi vores styring reage-

Diagrammet viser, hvordan RoboTrainer i princippet er opbygget.



rer øjeblikkeligt og tilpasser farten til den kraft, brugeren præsterer, skaber det illusionen om, at brugeren selv bevæger armen. Man kan sige, at robotten ophæver tyngdekraften for den skadede arm.

Fra idé til forskningsprojekt

Da vi først fik ideen til en træningsrobot, virkede det lidt usandsynligt, at det skulle gøre en væsentlig forskel for brugeren, om han skulle løfte en jernklods eller trække i en motor. Jeg troede ikke på, at fordelene ville være stor nok til at retfærdiggøre den ekstra udgift til motor, strømforsyning, sensorer, computer osv. Vi besluttede derfor at begynde med en simpel og billig testopstilling for at se, om det ville fungere, og om det ville gøre en forskel. Vi startede med at teste almindelig styrketræning og fandt hurtigt ud af, at robotten har nogle meget store fordele, når det kommer til motivation. Alle, der træner, har en stor udfordring i at holde gejsten oppe, da man nemt kommer til at sænke træningsintensiteten, hvorved man ikke får det ønskede udbytte. Det gælder måske især mennesker, der egentligt slet ikke har lyst til at træne, men er nødt til det på grund af en uheldig skæbne.

Det første program, jeg lavede til robotten, gjorde den i stand til at tilbyde excentrisk styrketræning, hvor brugeren startede med bøjet arm, som robotten lige så stille og roligt rettede ud, mens brugeren kæmpede imod af al magt. Når armen var rettet helt ud, fik brugeren lov til at bøje armen igen, og robotten startede forfra med at rette den ud. Jo mere brugeren kæmpede imod, jo mere træning fik han, men han vandt aldrig – robotten hverken svedte, prustede eller stønnede; den kørte bare ubønhørligt uanset, hvad man gjorde. Vores første bruger, Allan, var rimelig tilfreds. Den uendeligt tålmodige robot var altid parat og blev aldrig

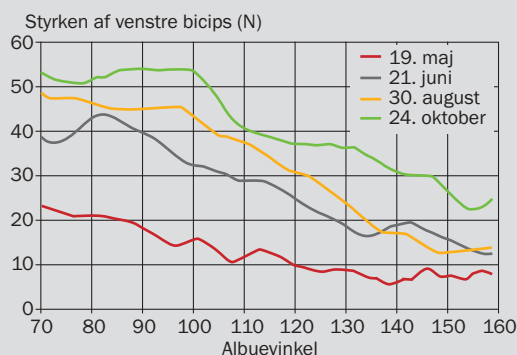
træt, og som jagersoldat var det tilsyneladende ikke noget problem at finde viljen til at kæmpe imod med al kraft igen og igen og igen.

Kurverne, der kom ud af computeren, viste, at Allan trak 10-20 % mindre for hver gentagelse, nøjagtigt som lærebogen forudsagde, fordi musklen simpelthen blev træt. Da vi andre skulle prøve, så vi imidlertid et andet billede. De første to gentagelser var gode nok, men derefter faldt trække med noget mere end 10-20 % per træk. Vi kunne simpelthen ikke få os selv til at trods ubehaget og yde vores maksimale indsats, da vi helt ubevidst blev i komfortzonen og derfor langt fra fik det fulde udbytte af den tid, vi brugte på at træne.

Robotten skubber komfortzonen

Egentligt er det ikke så overraskende, at en "lige-glad" træningspartner er demotiverende at træne med, men hvordan får man robotten til at holde op med at være ligeglad? Jeg opdaterede programmet, så robotten husker, hvor stærk brugeren egentligt er, hvilket vi kan måle i første gentagelse, før brugeren mister motivationen. Vi ved, at man burde kunne trække med 80 % af den styrke i næste gentagelse, så hvis man ikke gør det, standser vi bare robotten. I tredje gentagelse skal man så trække med 80 % af styrken fra anden gentagelse osv. Pludseligt kan man ikke snyde mere, der er kun en måde at træne på: maximal ydelse eller ingenting. Jeg behøver ikke længere have en vilje af stål: Ansvarer for, at jeg yder maksimalt er flyttet til robotten. Det eneste, jeg behøver tage ansvaret for, er at blive siddende i robotten og bevæge armen. Så længe jeg kan det, tvinger robotten mig til at yde maksimalt.

Efter lidt opvarmning tester jeg programmet, og tre minutter senere er jeg virkelig træt i armen –



Træningsresultater fra træningsrobot

Resultater af Jespers træning med træningsrobotten over en periode på ca. fire måneder.

Mens han træner, måler vi den kraft, han yder, 10 gange i sekundet og med en opløsning på 10 g. I løbet af perioden er styrken i overarmens bicepsmuskel gået fra at kunne løfte 1 kg til 6 kg. Det kræver ca. 2 kg at løfte underarmen, så funktionelt har han flyttet sig fra ikke at kunne løfte armen til at kunne bruge den delvist – til hans store glæde og tilfredshed.

I Jespers tilfælde har vi ikke programmeret robotten til at lave en "dyst". I stedet er den programmeret til at hjælpe ham med at løfte armen, sådan så robotten løfter med tre gange så stor kraft som Jesper. Hvis Jesper løfter 500 g, løfter robotten 1,5 kg – tilsammen kan de lige akkurat løfte armen. Tricket er, at robotten matcher Jespers indsats med nogle få millisekunders forsinkelse – så hurtigt, at kroppen ikke opfatter, robotten hjælper. Kroppen og hjernen får altså en illusion om, at den selv gør arbejdet, en illusion, der ikke er til stede, hvis den lamme

arm får hjælp af den raske arm eller af en ergoterapeut.

Ved at eksperimentere med en omvendt tankegang, hvor robotter giver brugeren besvær i stedet for service, er vi altså stødt på et meget interessant og relevant felt, der samtidigt ser ud til at være ret tæt på at gøre nytte i samfundet. Både som forskningsområde og som produkt, der kan bruges til alle former for træning.

efter bare 10 gentagelser. Som gammel kajakroer er jeg vant til at bruge armene, men jeg tror aldrig, jeg har prøvet noget lignende. Programmet virker! Belønningen er en biceps, der er øm et par dage efter.

Har jeg lige taget en del af min vilje og puttet den ind i robotten? På en måde er det, hvad der er sket, fordi jeg har automatiseret min vilje til at træne maksimalt med 10 linjers computerkode. 10 linjers kode, der kan overtrumfe min komfortsøgende underbevidsthed.

Jeg tænker tilbage på gymnasiet. Hvis bare Freud og min dansklærer havde vidst, at bevidstheden kan få magt over drifterne med blot 10 linjers computerkode. Well, måske ikke alle drifterne og måske kun nogle minutter af gangen. Men alligevel er det en fascinerende tanke, at man kan løbe om hjørner med sin indre komfortdjevæl ved hjælp af et computerprogram.

Motiverer med robotteknologi

Efter en del flere småforsøg med forskellige træningsopstillinger og forskellige mennesker, står det lysende klart: Det har meget stor betydning for vores indsats, hvordan en træningsmaskine reagerer på vores trækken og skubben. Vi er vant til, at træningsredskaber følger vores bevægelser – mere eller mindre modstræbende. Det styrker måske kroppen, men er forudsigeligt og ikke specielt stimulerende for hjernen.

Når træningsredskabet får en mere kompleks opførelse og fx begynder at stille krav, bliver det pludselig en form for dyst, hvor reflekser, instinkter og underbevidstheden kan involveres. Det kender vi allerede fra sportsspil fra diverse spilkonsoller, men vores forsøg tyder på, at der er stor forskel på, hvor vold-

somt vi stimuleres af noget, vi kan mærke i kroppen (træningsrobot), i forhold til noget vi ser på en skærm (træningsspil).

Vores indledende forsøg indikerer, at der er meget gode muligheder for at øge menneskers motivation, når de træner med diverse udstyr, hvis udstyret ikke bare følger passivt med, men indgår i en mere kompleks interaktion gennem kraft og bevægelse. Altså hvis udstyret opfører sig som en træningspartner og ikke bare som en belastning.

Nerveforbindelser lokkes til at blive gendannet

Tilbage til nutiden. Jesper, med den lamme arm, er netop blevet undersøgt af en neurolog. Det er ret sikkert, at en del af nerveforbindelsen til hans biceps er begyndt at gendannes, nu tre til fire år efter ulykken. Det er usædvanligt. Normalt sker gendannelsen i løbet af de første år. Det er derfor meget sandsynligt, at gendannelsen er stimuleret af den træning, Jesper har lavet med vores forsøgsopstilling. Han startede træningen ca. tre år efter ulykken og har trænet med robotten som partner tre gange 20 minutter om ugen i otte måneder. Vi, der forsker og underviser i robotteknologi, har nu allieret os med vores kolleger ved Institut for Idræt og Biomekanik for at søge midler til fælles forskningsprojekter, hvor vi undersøger teknikernes muligheder og betydning på et bredere panel af forsøgspersoner. Samtidigt har vi allieret os med et par iværksættere, der hjælper os med at skabe en "RoboTrainer", der kan sælges til sygehuse, kommuner og måske hjemmbrug, så andre end vores forsøgspersoner kan få glæde af teknologien. Hvis det lykkes, kan ofre for fx ulykker, blodpropper og for meget skærmarbejde få al den genoptræning, de har brug for – uden at økonomien bliver begrænsningen. ■



Erfaringerne med udvikling af robotter til industrien, fx svejserobotter, bruges nu i arbejdet med at udvikle robotter, der kan hjælpe mennesker med pleje og genoptræning.

Illustration: Colourbox.

FORSK NINGENS DØGN

på DTU

**Torsdag
den 2. maj
kl. 10:00**

Lyd i det lyddøde rum
Fold antennerne ud
Funktionelle fødevarer
LED-lys og sundhed
Fri fysikleg i Nanoteket
Mød bryggeren i DTU Bryghus
Computer cookies - virtuelle småkager
Ekstreme ansigter
Mordopklaring på DTU
En ulv er en ulv
Elektronmikroskopet
DTU ScienceShow

Skole- og gymnasieklasser inviteres fra kl. 10:00.
Senere på dagen er der adgang for alle.



Læs mere om dagen og om tilmelding på
www.dtu.dk/ForskningensDogn

LYNGBY-TAARBÆK
VIDENSBY

Danmarks
Tekniske Universitet



Stine til kamp mod rygerlunger

Stine Gissing Madsen, der læser til civilingeniør, samarbejder med læge om at udvikle løsninger til at forebygge KOL, også kaldet rygerlunger.

80-90 % af patienter med lungesygdommen KOL (Kronisk Obstruktiv Lungesygdom), har fået det på grund af rygning. Derfor forsøger læger og fagfolk at forebygge sygdommen ved at informere om, hvor farligt rygning er. Erfaring viser dog, at det er vanskeligt at påvirke rygeres adfærd: De har ikke lyst til at høre, hvor farlig rygning er, og selvom de ved det, ændrer de ikke adfærd.

Forskerne har dog fundet ud af, at man kan beregne lungealderen – ligesom man kan beregne kroppens alder generelt. Lungealderen viser, hvor gode lungerne er, og hvad dette svarer til i forhold til alder. Og det gør indtryk på rygerne.

»Lægerne oplever, at det er lettere at fortælle en patient, hvordan rygning påvirker helbredet, når de kan vise patienten lungernes alder. Det gør fx et stort indtryk på en 34-årig mand, når han får at vide, at hans lungekapacitet svarer til en 50-årigs. Det er et budskab, som ofte motiverer vedkommende til at stoppe eller reducere tobaksforbruget,« siger Stine Gissing Madsen, der læser til civilingeniør i Velfærdsteknologi på Syddansk Universitet.

Mærk din lungealder

Stines projekt på 3. semester, som hun laver i samarbejde med læge i Bogen, går ud på at beregne en patients lungealder og fortælle dem ved hjælp af simulering, hvordan det vil være at have KOL. »Vi viser brugeren, hvor svært det vil blive at trække vejret som KOL-patient. Det gør vi ved hjælp af en såkaldt pep-maske, som vi kan sætte forskellige modstande på – jo mere modstand, jo ældre lungealder.

Tanken er, at lægen vælger den modstand, som brugeren skal opleve, og derefter skal hun have masken på, mens hun får pulsen op. På den måde mærker hun, hvor besværet vejretrækningen bliver,« fortæller Stine.



Brugerundersøgelse og reel effekt

Stines samarbejde med lægen har medført, at hun har udviklet en app, der opsamler data og grafisk illustrerer vejretrækning og lungealder. »Det er et super spændende projekt, fordi jeg først skulle undersøge lægens behov og ideer.

Gennem udviklingsprocessen har jeg løbende været i dialog med ham, så løsningen matcher det, han har brug for i forhold til at hjælpe sine patienter,« siger Stine og fortsætter:

»Det motiverer mig, at jeg kan bidrage til at løse en reel problemstilling – både for den enkelte borger og for samfundet. For mig at se giver det god mening at udvikle hjælpemidler, der kan forebygge KOL og andre sygdomme.«

Forfatter

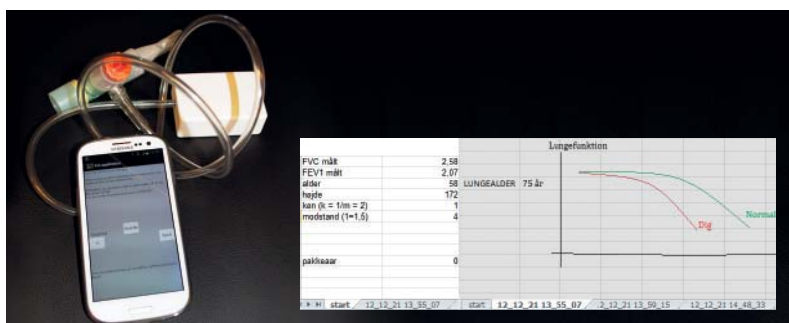


Mette Christina Møller Andersen, kommunikationskoordinator, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
E-mail: mcm@tek.sdu.dk

Stine Gissing Madsen (øverst th) har udviklet en app, som kan bruges til at motivere rygere til at kvitte tobakken.

Fotos: Mads Gorm Larsen

Nederst: Udstyret koblet til en mobiltelefon og grafik fra app'en.



Computermodel

Ved hjælp af computermodeller og laboratorieforsøg, hvor celler udsættes for mekanisk påvirkning, forsøger forskere ved Aalborg Universitet at afsløre de grundlæggende mekanismer i udviklingen af tryksår. Metoderne kan også bruges til mange andre ting som fx udvikling af bedre sportsudstyr.

Forfatter



Christian Gammelgaard Olesen, adjunkt
Institut for Mekanik og Produktion,
Aalborg Universitet,
cgo@m-tech.aau.dk

En yderst ubehagelig bivirkning ved at være afhængig af en kørestol er, at man er i risikogruppen for at udvikle siddesår. Tryksår er den mere generelle betegnelse for den slags sår, som også er meget almindelige hos mennesker, der igennem længere tid må være sengeliggende på grund af sygdom. For mennesker, der i forvejen er ramt af skæbnen, kan tryksår med rette opfattes som at føje spot til skade – og derudover belaster udgifterne til behandling af tryksår yderligere sundhedsbudgetterne.

Tryksår er alt i alt et problem, som der er gode grunde til at gøre noget ved. Man kan sige, at dette er den alvorlige baggrund for mit ph.d.-projekt om tryksår hos kørestolsbrugere, som jeg har lavet ved Institut for Mekanik og Produktion ved Aalborg Universitet.

Tryksår og reaktionskræfter

Statistikken viser, at næsten alle kørestolsbrugere på et tidspunkt i deres liv vil opleve tryksår, som af gode grunde typisk vil opstå på deres bagdel – specielt under siddekoglerne eller på halebenet. Overordnet opstår tryksår som navnet siger på grund af en mekanisk belastning på en lille del af kroppen. Men udover denne trivielle konstatering ved man faktisk ikke i detaljer, hvilke mekanismer der er på spil, når vævet efterhånden nedbrydes.

Velfærdsteknologiske løsninger på problemerne med tryksår kræver derfor en større viden om, hvordan vævet reagerer på mekanisk belastning. Min tilgang til sagen har i første omgang været at analysere de reaktionskræfter, der virker mellem en stol og en person, der sidder på den, og hvordan disse reaktionskræfter deformerer vævet under bagdelen.

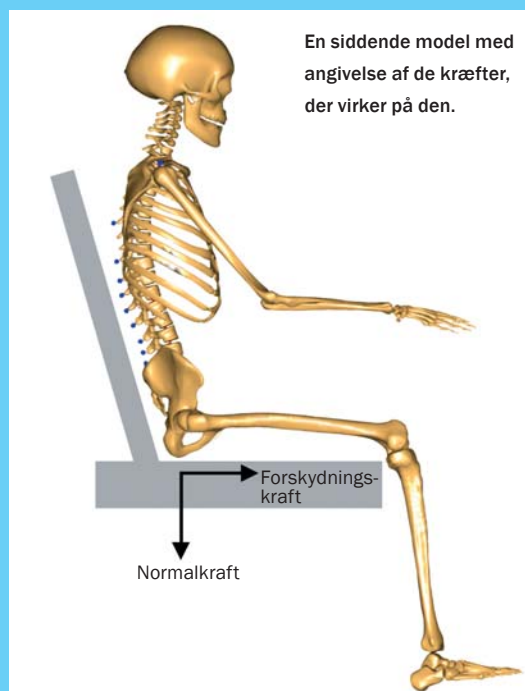
Om tryksår

Tryksår kan optræde alle steder på kroppen, men de mest udsatte områder er på hælen, omkring halebenet og siddekoglerne. Tryksår inddeles i fire kategorier, der går fra de mildeste tilfælde, som ses som rødmen af huden til de sværeste tilfælde, hvor vævet er forsvundet og knogler blotlagt. Hos kørestolsbrugere ses der ofte en ondartet type, hvor man på huden næsten ikke kan se noget, mens både muskelvæv og underhuden kan være voldsomt skadet.

Ud over selve det mekaniske tryk spiller en række andre faktorer ind ved udviklingen af tryksår, såsom forhøjet kropstemperatur, hudens fugtighed, dehydrering, inkontinens, Alzheimers sygdom mv. Samspillet mellem alle disse faktorer i udvikling af tryksår er dog ikke godt forstået.

De samfundsmæssige omkostninger ved tryksår er meget store. Et engelsk studium fra 2004 har således vist, at omkostningerne ved at behandle et enkelt tryksår i det engelske sundhedssystem varierede mellem 9.000 og 90.000 kr., og at omkostningerne til at behandle tryksår lagde beslag på ca. 4 % af det samlede sundhedsbudget.

I Danmark er der ikke tilsvarende sat tal på problemets omfang, men en undersøgelse på 10 danske hospitaler i 2005 viste, at ca. 33 % af patienterne på daværende tidspunkt led af tryksår i forskellig grad.



med tryksår

Analysen er udført ved at kombinere to forskellige computermodeller, der henholdsvis kan udregne reaktionskræfter mellem stol og person, samt beregne deformationer på baggrund af reaktionskræfterne. Første del af denne analyse foregår ved hjælp af en computermodel udviklet i softwaren AnyBody Modeling System, som er et modelleringsystem til at lave computermodeller af mennesker, der vekselvirker med et miljø som fx en stol, en cykel, et bilsæde eller lignende.

Når vi placerer vores siddende AnyBody-model i en virtuel stol, kan vi ud fra hvordan modellen sidder, udregne reaktionskræfter mellem stol og person. Disse kræfter bruges som input i en anden model af en siddende menneskekrop, udviklet af det tyske firma Wölfel, der har specialiseret sig i bilsædedesign. Denne såkaldt Finite Element model (FE-model) kan udregne deformationstilstanden af vævet under bagdelen, som er det væv, der er i risiko for skader.

Deformerede celler

Deformationstilstanden udregnet fra FE-modellen er i sig selv ikke meget værd, før man ved hvad der

skal til for at vævet under bagdelen nedbrydes.

Den videnskabelige litteratur på området antyder, at det bløde væv populært sagt ikke tåler at blive vredet i samme grad som blot at blive trykket sammen, men i hvilken grad vævet kan tåle forskellige former for deformation er stadig uklart. Derfor er vi nu som det næste skridt i gang med laboratorieforsøg, hvor vi undersøger, hvilke typer belastninger cellerne kan holde til.

Forsøget går ud på at gro celler og påvirke dem med mekaniske deformationer, der kan sammenholdes med de deformationer, der bliver udregnet i FE-modellen. Udfordringen er her, at det er svært at fastholde celler samtidig med, at man stimulerer dem mekanisk med en kontrolleret deformationstilstand.

Det første man skal gøre er at få umodne celler til at forme sig som almindelige muskelceller – dvs. celler, der er karakteriseret ved, at de enkelte celler så at sige smelter sammen til aflange fibre med mange cellekerner. Som umodne celler bruger vi et kommercielt tilgængeligt celledsystem, der er beregnet til at udsætte voksende celler for et tryk.

Ældre mennesker, der sidder i kørestol en stor del af tiden udvikler nemt tryksår.

Et tryksår starter under bagdelen. I projektet vil vi forsøge at finde ud af hvorfor, da denne viden kan gøre os i stand til at udvikle guidelines og produkter, der kan minimere risikoen for at udvikle tryksår.



Foto: Wikimedia.



Foto: Colourbox.



Christian Gammelgaard Olesen med en prøve-model på en såkaldt "kaffemølle" som bruges i Americas Cup

Vi har udviklet en metode, hvor vi ved at stimulere disse celler mekanisk, får dem til at ensrette sig og ligge parallelt som i en muskel, når de går fra et umodent stadium til en tidlig type muskelfibre. Nu arbejder vi på at fastholde "muskelfibren" og udsætte den for mekaniske stimuli, der svarer til, at en person sidder på bagdelen. Hvis vi på den måde kan komme til en grundlæggende forståelse af, hvorfor et tryksår starter under bagdelen, kan det gøre os i stand til at udvikle guidelines og produkter, der kan minimere risikoen for at udvikle tryksår.

Fra tryksår til sejlsport

De metoder, vi anvender til at forstå og afhjælpe tryksår, kan også bruges til mange andre ting, der involverer mennesker og en eller anden form for miljø. Inden for design af sportsudstyr er der ofte meget at hente, da sportsudstyr normalt designs ud fra tradition og hvad der er lettest at markedsføre – ikke ud fra en rationel tilgang. Vi prøver derfor at hjælpe virksomheder med at udvikle metoder til, hvordan sportsudstyr kan udvikles og testes med henblik på at skabe de bedste forhold for personen, der skal bruge udstyret.

Eksempelvis samarbejder vi har med Harken, som er verdens største producent af sejlsportsudstyr, om udvikling af optimale metoder til håndtering af sejl mv. De store kapsejlsbåde, som bl.a. bruges i Americas Cup, har ofte monteret såkaldte "kaffemøller", til at drive de store spil, der justerer sejlene. Kaffemøllerne har den højde, bredde og håndtags-

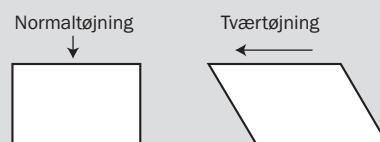
længde som de altid har haft, bygget på traditioner. I samarbejde med Harken har vi taget den udfordring op at finde den optimale højde, bredde og håndtagslængde for besætningen på en kapsejlsbåd, så den kan performe bedst muligt.

Også i dette projekt bliver der lavet computermødel og forsøg for at komme frem til det bedste design.

Tøjning

Et vigtigt begreb inden for "deformationslæren" er tøjning, som de færreste danskere sikkert kender. Tøjning er den danske pendant til det engelske ord "strain", som nok er mere kendt. Tøjning er en enhedsløs mekanisk størrelse, der beskriver et materiales relative deformation. Tøjning kan deles op i normal- og tværtøjning, der hhv. er normal eller parallelt på materialet, som illustreret med de simple firkanter.

Man mener ikke, at det bløde væv i kroppen tåler tværtøjninger i samme grad som normaltøjninger. I hvilken grad det faktisk er tilfældet, undersøger vi nu med forsøg med celler på Aalborg Universitet.



Videre læsning

Olesen C.G, de Zee M, Rasmussen J. (2010): Missing Links in Pressure Ulcer Research - An Interdisciplinary Overview. Journal of Applied Physiology. 108(6), 1458-1464

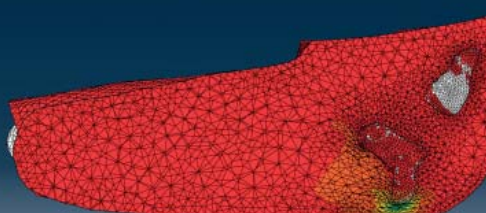
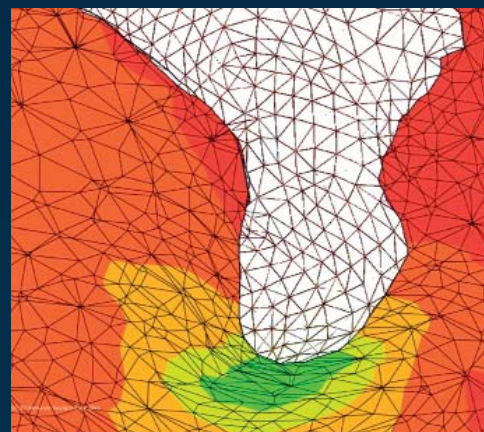
Bennett, G., C. Dealey and J. Posnett (2004): The cost of pressure ulcers in the uk. Age and Ageing 33(3), 230-235.

AnyBody – modellering af menneskekroppen

AnyBody er et modelleringssystem til at lave computermødel af mennesker, der vekselvirker med et miljø som fx en stol, en cykel, et bilsæde eller lignende.

AnyBody begyndte i 1997 som et forskningsprojekt på Aalborg Universitet. Projektet tiltrak hurtigt stor industriel interesse, bl.a. fra Ford i Tyskland, og i 2001 blev selskabet AnyBody Technology A/S stiftet i Nordjyllands Videnpark, NOVI.

AnyBody Technology har siden udviklet og markedsført programmet og de tilhørende modeller over hele verden. Flere hundrede universiteter anvender i dag programmet og bidrager til den stadige udvikling og validering af modellerne. Industrielt anvendes teknologien især til udvikling af ledimplanter og andre ortopædiske produkter samt til ergonomisk design.



Figurerne viser en model af, hvordan siddeknoglerne sammenpresser vævet under bagdelen, når man sidder på en stol. Farverne repræsenterer forskydningstøjning – dvs. i hvilken grad vævet er deformet. Det er tydeligt, at der er en koncentration under siddeknoglerne (grøn farve).



**Learning seriously
affects your brain**
www.aau.dk

BLIV INGENIØR OG GØR EN FORSKEL

Ingeniørvidenskaberne sætter verden i bevægelse. Skaber velstand og fremgang og skubber til vores forståelse af, hvad der er muligt. Ingeniører hjælper i dag med at takle vor tids største udfordringer; klimaforandringer, sundhed, manglen på ressourcer og meget mere.

En virkelighedsnær studieform

Som ingeniør kan du skubbe til grænserne - også i studietiden. Grunden er AAU's unikke studieform, hvor studerende samarbejder om at løse et konk-

ret problem fra den virkelige verden. Ikke bare i en uge eller to, men igennem et halvt år ad gangen.

Det er en studieform, der giver selvudvikling, motivation og en mulighed for at producere løsninger og ny viden, der kan flytte noget.

Se dine uddannelsesmuligheder på :

www.studieguide.aau.dk



**Teamwork seriously
affects your brain**
www.aau.dk

Når reflekser sæt

I 2010 præsenterede forskere ved Aalborg Universitet en ny metode, der ved aktivering af afværgerefleksen, kan hjælpe med til at få delvist lamme til at gå normalt igen. Vi kigger her nærmere på metoden og dens muligheder.

Forfattere



Ole Kæseler Andersen
dr. scient.,
ph.d.,

Professor
oka@hst.aau.dk



Erika G. Spaich
Lektor

espaich@hst.aau.dk



Carsten Dahl Mørch,
lektor

cdahl@hst.aau.dk

Alle ansat ved Center for Sanske Motorisk Interaktion, Institut for Medicin og Sundhedsteknologi, Aalborg Universitet

Når man træder på en skarp sten på stranden med bare tæer, går det stærkt med at få fjernet foden. Kroppens reaktion på den slags smerte udløser nemlig en afværgerefleks, der er kroppens instinktive metode til at undgå smerte. Denne afværgerefleks har vist sig at være yderst nyttig i en helt anden sammenhæng – nemlig i forbindelse med genoptræning af mennesker, der har fået halvsidig lammelse efter et slagtilfælde. De sidste år har vi ved Aalborg Universitet arbejdet på en metode, hvor man ved at give sådanne patienter elektriske stød under fødderne kan hjælpe dem med at lære at gå normalt igen.

I samarbejde med Brønderslev Rehabiliteringscenter har vi påvist, at metoden resulterer i bedre gangfunktion efter et fire ugers terapiforløb, hvor den daglige gangtræning var støttet af elektriske stimulationer. Da resultaterne blev kendt skabte det stor offentlig interesse om metoden – fx blev den kåret af brugerne af Videnskab.dk som årets danske forskningsresultat i 2010.

Reflekser hjælper på vej

Hvis man har fået lammelser i den ene side fx efter et slagtilfælde, vil benet være svært at løfte i den lammede side, og foden slæbes efter kroppen.

Man har længe arbejdet med metoder, der via kortvarige elektriske stimulationer kan hjælpe sådanne patienter. Den traditionelle tilgang er at aktivere udvalgte muskelgruppe direkte med elektriske signaler, hvormed man kan opnå en kontrolleret styring af en bevægelse. Med denne metode stimuleres muskelfibrene dog på en unaturlig måde, hvilket bl.a. betyder at musklerne hurtigt bliver trætte.

Derudover er det med den traditionelle tilgang svært at opnå en tilstrækkelig bøjning af hoftedet og dermed få løftet benet højt nok i gangbevægelsen. Flexor-musklerne omkring hoftedet, der sørger for hoftebøj under gang, er nemlig placeret relativt dybt og er dermed vanskelige at stimulere med elektroder sat på huden.



ter i gang

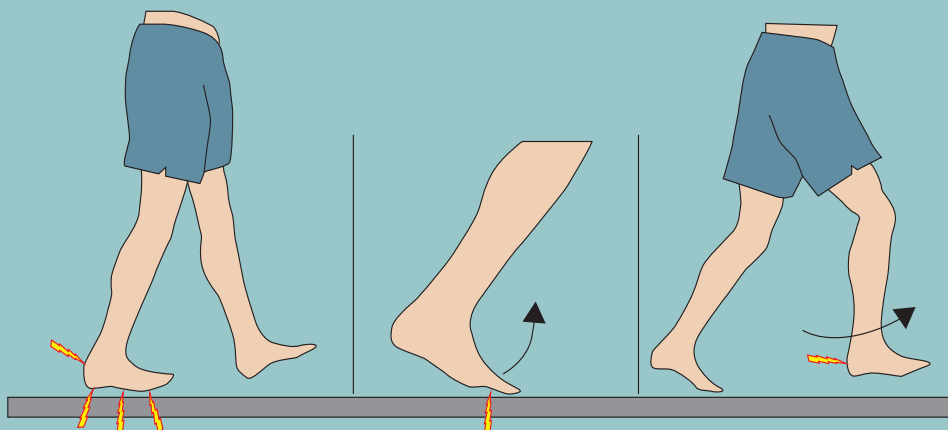


Et tryk på knappen og en refleks kan aktiveres via en elektrode sat fast under foden.

Vurdering af genoptræningsmetode

Når man vurderer effekten af genoptræningsmetoden støtter forskerne sig dels til subjektive vurderinger af de terapeuter, der arbejder med patienterne. De oplever således på egen krop, hvor meget støtte patienten har brug for – hvor yderpunkterne i sagen natur går fra overhovedet ikke at kunne gå til at kunne gå "normalt" uden støtte.

I tillæg til dette måler forskerne fra Aalborg Universitet på en række faktorer, der giver nogle kvantitative mål for gangfunktionen, der kan sammenlignes over tid og fra patient til patient. Man kan fx måle på, hvor lang tid det tager at svinge benet, og sensorer placeret på hofte-, knæ- og ankelled kan måle bevægelsen af leddene i form af en vinkelændring. Endelig er der også simple mål, som hvor hurtigt en patient går en given strækning samt tophastighed.



Med elektroder sat under fodsålen, kan der gives elektrisk stød. Timing og antallet af stød tilpasses den enkelte patients behov

Oftest gives de første stød lige efter, at hælen er løftet

Stød under fodsålen kan få foden til at svinge op og dermed modvirke dropfod

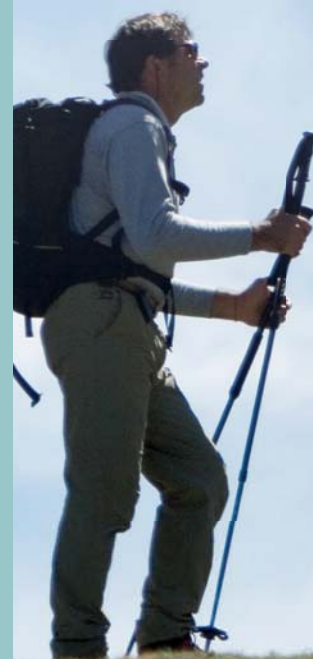
Stød bag på anklen vil få knæleddet til at rette ud og benet til at svinge frem

Hvilke patienter kan få glæde af behandlingen?

Patienter med apopleksi – dvs. som er delvist lammede efter et slagtilfælde – vil være nogle af de mest oplagte, der kan få glæde af den beskrevne metode til ganggenoptræning. Muligvis kan andre patienter med hjerneskader, der er opstået efter ulykkestilfælde som trafikuheld eller drukneulykker, hvor hjernen har været uden ilt i en periode også have fornøjelse af metoden, men dette er endnu ikke undersøgt.

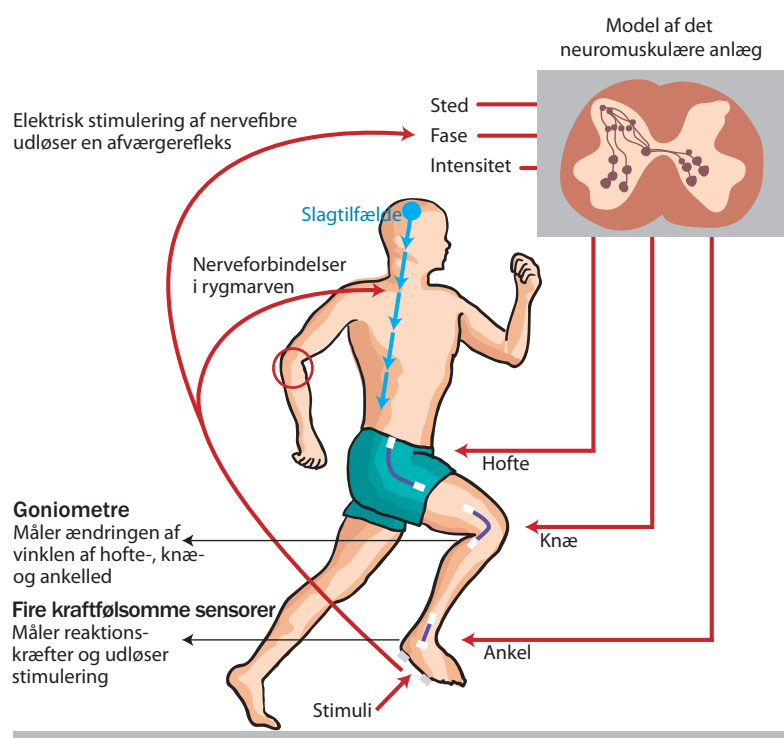
For sådanne patienter gælder, at rygmarvsreflekserne ofte vil være rimeligt intakte, da skaderne typisk vil være på centre i hjernen. Man kan derfor udnytte den intakte del af nervesystemet til at kompensere for den manglende hjernekontrol.

I princippet kan metoden også bruges til patienter, der har fået skader på rygmarven efter ulykkestilfælde. Her er situationen en anden, da smertefornemmelsen kan være kraftigt nedsat pga. skaden. Men afværgereflekser fungerer oftest stadigvæk omend typisk af en anden styrke og oftest ses også ændringer i følsomheden overfor, hvor hurtigt kroppen vænner sig til elektriske stimulationer. Til gengæld kan man ikke på samme måde genoptræne hjernen, da problemet netop er skaden på rygmarven. Derfor vil metoden i sådanne tilfælde skulle udvikles til at være et mere permanent hjælpemiddel.



Men her er det så, at afværgerefleksen kommer ind i billedet. Afværgerefleksen kan udløses ved stimulering af sensoriske fibre i foden, og det udløser en refleks i rygmargen, som aktiverer flere muskler på en gang – deriblandt de muskler, der er svære at aktivere via elektroder på huden.

I udlandet har forskere også arbejdet på at udvikle sådanne refleksbaserede metoder til at hjælpe rygmargsskadede patienter med at gå. Det nye i vores metode er således hverken princippet i at anvende strøm til at hjælpe patienterne eller at udnytte afværgerefleksen, men den måde reflekserne fremprovokes på.



Konkret går metoden ud på at give patienterne kortvarige elektriske stød via elektroder sat forskellige steder under fodsålerne. Den resulterende refleksbevægelse minder til forveksling om en skridtfunktion. Det afgørende ved vores metode er, at der gives stød forskellige steder under fodsålen. Afhængig af det præcise tidspunkt i gangcyklussen, stimulationsstedet og stimulationsintensiteten vil refleksfunktionen bestemme, hvilken bevægelse det lamme ben vil foretage. Således kan refleksen hjælpe med at få benet løftet højt nok, svinge det fremad og få foden til at vippe opad (modsat drop-fod) som ved normal gang.

Udover, at de elektriske stød med den rette styring kan udmønte sig i en naturlig gangbevægelse, så udtrættes musklerne heller ikke så hurtigt som ved direkte stimulation af den enkelte muskel.

Hjernen skal genoplæres

Vi har udviklet et apparat, der giver stød på typisk mellem 100 og 200 volt af en varighed på 20 millisekunder. Det gør ondt at få sådanne stød (ellers ville man jo heller ikke kunne udløse en afværgerefleks!).

Hvis man over længere tid giver elektriske stød det samme sted, vænner kroppen sig dog til smerten, og derfor vil man over tid opleve, at effekten gradvist bliver mindre. Det betyder, at metoden ikke er velegnet som et permanent hjælpemiddel, men som et værktøj i en genoptræningsperiode, hvor en patient skal lære at gå igen efter en ulykke eller slagtilfælde. Så snart patienten er stabil efter slagtilfældet, kan man starte genoptræningen og bruge refleksteknologien som støtte. Patienten skal

Elektrisk stimulation kortslutter nervefiberens cellemembran

Elektrisk stimulation udnytter nervefibre's elektriske egenskaber til at aktivere dem kunstigt. Når et sæt elektroder sættes på huden tvinges strømmen gennem huden og det underliggende væv. Strømmen ændrer det elektriske potentiale i vævet omkring nervefiberen og dermed ændres det elektriske potentiale over nervefiberens cellemembran.

Hodgkin og Huxley viste allerede i 1952, at ionkanaler placeret i cellemembranen er ansvarlige for at lave og transmittere aktionspotentialer. Det er netop sådanne spændingsafhængige natriumkanaler, der aktiveres ved elektrisk stimulation. For at forstå, hvilke typer nervefibre der aktiveres, er det derfor vigtigt at forstå, hvordan stimulationen ændrer potentialet i vævet, og hvordan nervecellernes membranpotentialer ændres som konsekvens. Til dette bruges ofte matematiske modeller. En "finit element" model, som beskriver strømmen gennem vævet, kombineres med en simplificeret udgave af

Hodgkin og Huxley originale model for hvert punkt på nervefiberen, hvor en aktivering kan forekomme. På den måde kan man beskrive, hvordan forskellige typer fibre med forskellig morfologi og elektriske egenskaber aktiveres af en given elektrisk stimulation.

For at udløse en afværgerefleks er det nødvendigt at aktivere de smertemedierende A δ -fibre. Aktivering af de ikke-smertemedierende A β -fibre har ligeledes en dæmpende effekt på smertesystemet (det er derfor, man ryster hånden hvis man brænder den). Det er derfor en fordel ikke at aktivere A β -fibre, når man vil fremprovokere afværgerefleksen gentagne gange i forbindelse med ganggenoptræning.

Modellerne kan også bruges til at undersøge optimale stimulationsparametre (elektrodestørrelse, pulsbredde, pulsform mv.) for udløsning af afværgereflekserne.

selv forsøge at gennemføre bevægelsen, idet de elektriske stimulationer blot sikrer, at bevægelsen reelt kan gennemføres.

Man kan således sige, at det er hjernen, der er målet for genoptræningen. Hvis man i genoptræningsperioden bliver nødt til at udvikle en kompenserende gang på grund af de begrænsninger, lammelserne giver, så vænner hjernen sig til denne unormale gang, som kan være svær at aflære igen. Det betyder derfor meget for det endelige resultat – og dermed for patienternes livskvalitet – at man så tidligt under genoptræningen som muligt kan udføre en naturlig gangbevægelse.

Fra metode til produkt

Vi arbejder nu på at finde de optimale måder at sætte strøm til patienterne – fx at identificere de bedste steder at placere elektroderne og systematisk at analysere, hvor meget strøm, der skal til og hvor lang varighed stødene skal have for at opnå det bedste resultat for den individuelle patient. Ved hele tiden at ændre på placeringen af stimulationerne kan man også opnå, at det tager længere tid for kroppen at vænne sig til stødene. Dermed kan man forlænge den periode, metoden er effektiv.

Hvor lang tid et optimalt genoptræningsforløb vil vare, ved vi ikke endnu. Men vi forestiller os, at et typisk forløb vil være, at en patient modtager 30 minutters gangtræning dagligt med støtte af elektriske stimulationer og fysioterapi efter behov.

Efter nogle ugers terapiforløb er patienten forhåbentlig kommet sig så meget, at effekten af behandlingen overtrumfer ubehaget ved at få stød under

fødderne og behovet for støtte fra de elektriske stimulationer er blevet mindre i takt med, at gangfunktionen er forbedret.

Forskernes ambition er at udvikle et kommercielt produkt, som vil give både fysioterapeuter på specialiserede rehabiliteringscentre og privatpraktiserende fysioterapeuter mulighed for at tilbyde patienter bedre ganggenoptræning.

På nuværende tidspunkt kræver forsøgene, at en fysioterapeut udløser de elektriske stød, mens en anden hjælper og støtter patienten.

Det er klart, at et kommercielt apparat skal kunne fungere automatisk, så fysioterapeuten kan have sin fulde opmærksomhed på patienten.

Fx skal apparatet gerne være batteridrevet, så man undgår ledninger, og dels skal der være en automatisk styring, så de elektriske stød bliver givet på det rigtige tidspunkt og dermed tilpasses den enkelte patient. Dette kan fx baseres på, at en simpel kontakt i skoen registrerer, hvornår foden bliver løftet – eller en mere avanceret løsning kan være, at apparatet ved hjælp af mere avancerede sensorer (accelerometre, gyroskop, m.m.) registrerer gangcyklus og samtidig muliggør vurdering af refleksernes styrke og justerer stødene derefter. Apparatet skal også kunne til- og frakobles lynhurtigt, og sidst men ikke mindst, skal det være sikkert at bruge for både patient som terapeut, da der jo er tale om apparatur, der kan give et pænt kraftigt elektrisk stød.

Videre læsning

Mørch, C.D., Hennings, K., Andersen, O.K. (2011): Estimating nerve excitation thresholds to cutaneous electrical stimulation by finite element modeling combined with a stochastic branching nerve fiber model. *Med.Biol.Eng Comput.* 49 (4):385-395, 2011.

Emborg, J. et al (2011): Design and Test of a Novel Closed-Loop System That Exploits the Nociceptive Withdrawal Reflex for Swing-Phase Support of the Hemiparetic Gait. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, NO. 4. pp960-970.

Spaich, E.G., Svaneborg, N., Andersen O.K. (2011): Withdrawal Reflex-Based Gait Training in the Subacute Post-Stroke Phase: Preliminary Results. *IFMBE Proceedings Vol. 34.*

Elektrode placeret under foden.



Matematisk model for elektrisk stimulation

Et tværsnit af en matematisk model for elektrisk stimulation af huden gennem to runde elektroder med en diameter på 10 mm og en indbyrdes afstand på 20 mm.

Baggrundsfarven indikerer det elektriske potentiale i dermis (læderhuden) og det subkutane væv ved en elektrisk stimulation på blot 1 V.

Et eksempel på en A β -fiber viser, hvordan nervefibren forgrener sig, og et eksempel på en A δ -fiber viser, at disse fibre først forgrener sig i de øverste lag af huden. Farven på kuglerne indikerer nervecellernes membranpotentiale, som det elektriske potentiale i vævet har forårsaget.

Hvis membranpotentialet overstiger nervefiberens tærskel fx 20 mV aktiveres fiberen, og på den måde kan man beregne, hvilke nervefibre der aktiveres ved en given stimulationsstyrke.

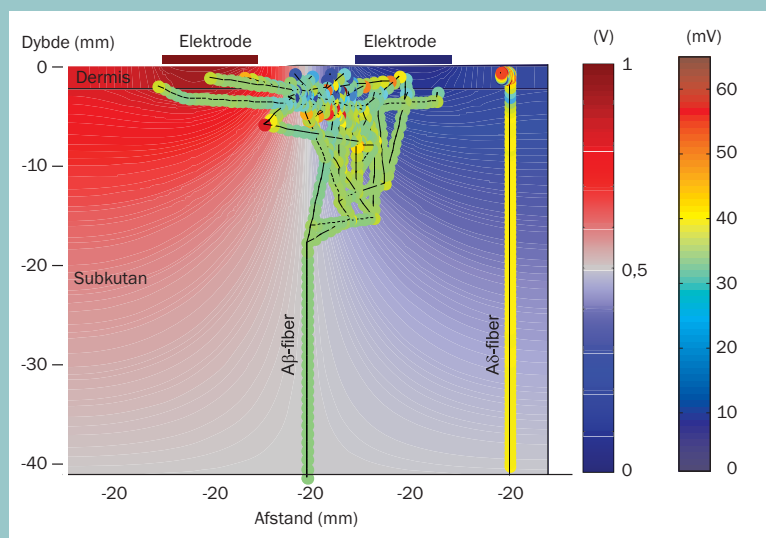




Foto: Carsten R. Kjaer.

Grafikkort sætter

Vores pc'ere gemmer i dag på grafikkort, der for de bedstes vedkommende byder på en enorm regnekraft set i forhold til prisen. Denne regnekraft udnytter forskerne nu i stor stil.

Forfattere



Jesper S.
Hansen
jschmidt@ruc.dk



Nicholas
P. Bailey



Jeppe C. Dyre



Thomas B.
Schrøder

Grundforskningscentret for seje væskers dynamik "Glas og Tid", IMFUFA, Institut for Natur, Systemer og Modeller, Roskilde Universitet

Verden over forsøger videnskabsfolk at løse stadig mere komplicerede problemstillinger, hvor krævede computerberegninger er nødvendige. Desværre er udviklingen af computer-processorens regnekraft nu stort set gået i stå, og man anvender derfor flere processorer pr computer (også kaldet kerner). Grafikkortet har taget denne strategi til det ekstreme og er i rivende udvikling; grafikkort tilbyder i dag en regnekraft mange gange hurtigere end standard-computeren. Videnskabsfolk har dermed fået adgang til billige regneressourcer, hvilket kan flytte forskningen og vores forståelse af naturen.

Computerspil kræver meget stor regnekraft: Spilleren overflyver komplicerede og detaljerede landskaber, affyrer projektiler og forårsager eksplosioner – alt sammen med krævede grafik der løbende skal beregnes. Til dette benyttes computerens grafikkort, eller med mere teknisk sprog: Graphics-Processing-Unit (GPU).

En GPU er opbygget af simple men mange mikro-processorer. Moderne grafikkort har 1.500 eller flere processorer indbygget – og det er til en pris på omkring 3.000 kr., eller cirka to kr. pr processor! Man kan – uden at der i øvrigt kan sammenlignes direkte – nævne, at Danmarks Meteorologiske Instituts to supercomputere hver har 512 standard-processorer, Central-Processing-Unit (CPU'er) med hver fire kerner, til en pris på omkring 20 mio. kr. pr supercomputer.

Algoritmerne bag det hele

Desværre kan man ikke blot tage sit favoritprogram ned fra hylden og få grafikkortet til at lave beregningerne. Softwaren skal være programmeret til at udnytte grafikkort. Den gode nyhed er, at det kan mange af de populære videnskabelige programmer i dag, eksempelvis MATLAB.

Da videnskabsfolk for godt 10 år siden begyndte at

anvende grafik kort, var det anderledes. Programmeringen var ganske besværlig, og man skulle "snyde" grafik kortet til, at tro at fysiske størrelser som en partikels hastighed og position, var pixels på en skærm.

I 2006 lancerede den førende grafik kortproducent NVIDIA en meget nemmere måde hvorpå kommunikationen med grafik kortet kunne foregå – det såkaldte interface mellem programmør og grafik kort. NVIDIAs programmeringsmodel blev døbt CUDA (Compute Unified Device Architecture). Senere er en åben standard model, kaldet openCL, blevet udviklet, der skal gøre det muligt at regne på alle typer grafik kort.

De finere detaljer i programmeringsmodellerne er komplicerede, og skal man have fuldt udbytte af grafik kortet, skal disse detaljer kendes godt når man selv programmerer sin software. Derfor er programmerings erfaring og hardware forståelse nyttig her. På den anden side er det nu muligt for ikke-eks-

perter at udnytte de fleste muligheder GPU'en tilbyder og opnå betydeligt hurtigere beregningen med en ret lille indsats.

Er det besværet værd?

Dette spørgsmål kan ikke uden videre besvares generelt med et "ja" eller et "nej": Der skal det rigtige redskab til at løse et problem. Skal man fx gange to matricer sammen (beregninger der bl.a. anvendes i signalanalyse), vil beregningerne ofte være hurtigere at foretage på en helt almindelig CPU, hvis matricerne ikke er store. Er matricerne derimod store, vil beregningen på grafik kortet være mange gange hurtigere. Faktisk kan GPU'en være omkring 100 gange hurtigere end CPU'en for tilstrækkeligt store matricer – og det er uden de store anstrengelser ved programmeringen af koden (se boks).

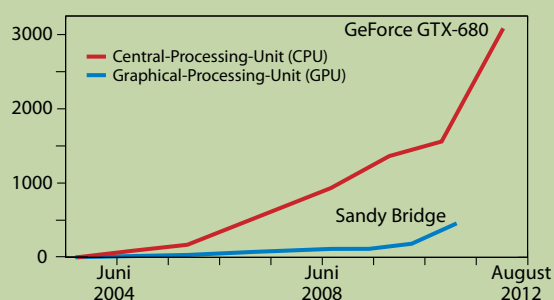
Ved grundforskningscentret "Glas og Tid" har vi siden 2008 benyttet NVIDIA grafik kort og CUDA-programmeringsmodellen.

Newton på speed

Udvikling af grafik kort

Udviklingen af grafik kort (GPU) går i dag meget hurtigere end udviklingen af standard CPU. GPU'en er specielt velegnet til at regne i enkeltpræcision, dvs. tal med op til 7 betydende cifre. Dette er en acceptabel præcision for de fleste videnskabelige beregninger.

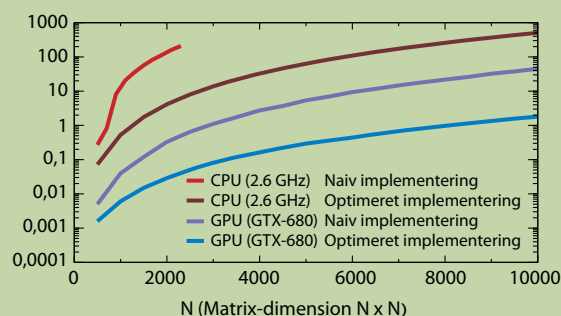
GFLOP/s - teoretisk estimat



Sammenligning af ydeevne for Intels flagskibe inden for standard CPU-processorer og NVIDIAs GPU-processorer. GFLOP/s betyder "Giga-Floating-Point-Operations-per-second", altså milliarder decimaltalsoperationer pr sekund. Jo flere GFLOP/s jo hurtigere er processoren. "Sandy Bridge" er pt. Intels high-end CPU-serie, og GeForce GTX-680 er NVIDIAs hurtigste spille-baserede grafik kort.

Kilde: NVIDIA - CUDA programming guide.

Eksekveringstid i sekunder



Figuren viser hvor lang tid det tager at gange to matricer sammen; bemærk den logaritmiske skala på y-aksen. Det "naive" CPU-program er skrevet i ISO-C99, det optimerede program benytter Basic Linear Algebra Subprograms (BLAS). Den naive GPU-kode er en meget simpel modifikation af den naive CPU-kode, som ikke benytter grafik kortets hurtigere hukommelse osv. Den optimerede GPU-kode benytter CUDA versionen af BLAS (CUBLAS). Det ses, at selv et simpelt GPU-program er cirka ti gange hurtigere end et fuldt optimeret CPU-program.

Newton's bevægelsesligning – Newtons 2. lov

- er givet ved

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \mathbf{F}_i,$$

hvor m_i er massen af partikel i , $\mathbf{r}_i$ dens stedvektor, og $\mathbf{F}_i$ er kraften på den fra de andre partikler i systemet. Newtons 2. lov bestemmer molekylernes bevægelse, når man foretager molekyledynamik-simuleringer; den er altså motoren bag det hele. For systemer med mange partikler er ligningen et højdimensionalt koblet differentiaalligningssystem, der ikke kan løses analytisk.

Man må derfor ty til numeriske metoder, altså til computersimuleringer. Når det sker, diskretiseres ligningssystemet med hensyn til tiden. I molekyledynamiske simuleringer er et diskret tidskridt typisk cirka 1-10 femto-sekunder (et femto-sekund er 10^{-15} sekund).

Vi har udviklet specialdesignede algoritmer, som udnytter de forskellige muligheder grafikkortet tilbyder. Vi har omkring 90 grafikkort i vores "super-computer", hvilke giver en beregningskapacitet på den pæne side af 90 TeraFLOP/s, dvs. 90×10^{12} decimalberegninger (FLOP: "floating point operations") pr sekund.

Asfalt og molekulære simuleringer

Har det været besværet værd? Bestemt! Overgangen til brug af grafikkort var et kvantespring for vores forskning, idet vi med ét kunne lave 20 gange hurtigere simuleringer. For eksempel benytter vi grafikort til at forstå seje væskers dynamik, nanovæsker, og til simulering af molekylemodeller af raffineret bitumen (den sorte tjæredel i asfalt). Studierne er baseret på molekyle-dynamiske beregninger, hvor man numerisk løser Newtons bevægelsesligning, dvs. et stort sæt koblede differentiaalligninger – typisk i størrelsesordenen 6.000-30.000 styk – der skal løses over den tid, som er karakteristisk for det problem, man studerer.

Seje væsker er karakteriserede ved en meget langsom dynamik. I "Glas og Tid" og i projektet "From Micro to Nano" opstiller vi modeller for disse væsker, som studeres ved computer-simuleringer af molekyledynamik. For at kunne teste vores teorier er det nødvendigt at "ramme" den interessante dynamik, og derfor skal simuleringerne foretages over en (for molekyledynamik) enormt lang tidsskala. Grafikkortet gør os i stand til dette.

Computersimuleringer indgår også som en vigtig del af det strategiske forskningsprojekt Cooee.

Cooee-projektets formål er at etablere det videnskabelige grundlag for en reduktion af rullemodstanden (modstanden mellem dæk og vej), herunder at forstå ændringerne i de mekaniske egenskaber af bitumen efterhånden som en vej ældes. Bitumen kan bestå af mere end en million forskellige typer molekyler. Disse grupperes på baggrund af deres opløselighed i organiske opløsningsmidler.

Ud fra en sådan klassificering har vi opstillet en molekylemodel bestående af fire strukturer, der hver repræsenterer én gruppe. Vi studerer fænomener på en tidsskala svarende til omkring 2 mikrosekunder, hvilket er den karakteristiske tidsskala for molekylernes rotation.

På basis af resultaterne fra computer-simuleringer foretaget inden for det seneste år har vi identificeret en afgørende årsag til ændring af asfalts mekaniske egenskaber med tiden. Dette kunne ikke have været gjort med CPU-baserede simuleringer, da de kun kan foretage beregninger af meget kortere tidsrum på cirka 10 nanosekunder; på så kort en tidsskala kan mange egenskaber ikke studeres.

Ikke kun "Newton er på speed"

Grafikort benyttes ikke kun til løsning af Newtons bevægelsesligninger. Eksempler på andre anvendelser er Computational Fluid Dynamics (CFD), optimeringsproblemer og signalanalyse. Det første interface med grafikkortet var baseret på programmeringssproget C. I dag findes der interfacier til fx sprogene Python, Java og Fortran, så man nu kan programmere software, der kan køre på GPU-kort i sit favoritsprog.

Mange softwarepakker understøtter faktisk GPU-beregninger, uden at brugeren skal have kendskab til GPU-programmering (som nævnt ovenfor er MATLAB et eksempel herpå) – faktisk kan brugeren være helt uvidende om, at programmet benytter grafikortet. Grafikortets ressourcer er dermed nu tilgængelig for alle, selvom man stadig selv må programmere nede "på bit-niveau", hvis den allerhurtigste kode skal opnås. ■

Et moderne geraffikort repræsenterer en betydelig regnekraft.

Foto: Thomas Schrøder



Cooee-projektet

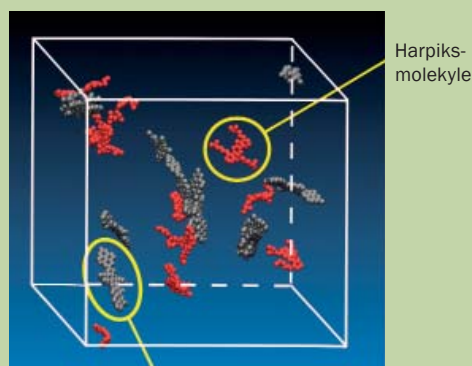


I projektet undersøges eksperimentelt hvilke parametre, der bestemmer en vejs rullemodstand. Ud fra målinger af en vejs tekstur opstilles matematiske modeller for rullemodstanden. Billedet viser en såkaldt TUG-trailer til måling af rullemodstand. Cooee-projektet har bl.a. til forskningsformål udført rullemodstands-målinger på landingsbanen for den nu nedlagte flyvestation Værløse.

Foto: Niels Dujardin

I bitumen (den sorte klistrede del af asfalten) vil de største af molekylerne (asfaltenerne) med tiden danne nano-aggregater. Disse kan muligvis medføre nedsat vedhæftning til stenene i asfalten og derved give et dårligere vejgreb. På baggrund af resultater fra molekyledynamik-simuleringer mener vi, at man kan kontrollere formationen af aggregater ved fx at tilsætte harpiks. Simuleringerne af bitumen er foretaget med "Glas og Tid"s molekyledynamik-pakke RUMD designet og optimeret for GPU-computing (<http://rumd.org>).

Cooee-bitumen modellen



Asfaltmolekyle

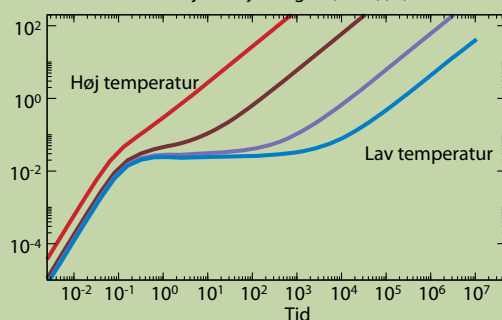
Snapshot af Cooee-bitumen modellen i en molekyledynamiksimulering. Kun asfaltmolekylerne og harpiksmolekylerne er vist her. I alt simuleres et par hundrede molekyler.

Kassen angiver simuleringsboksen, dvs. størrelsen af hele systemet.

Seje væsker

Figuren viser kvadratet af den gennemsnitlige afstand (middelvejs-forskydningen) et molekyle har bevæget sig

Kvadratet af middelvejsforskydningen ($\langle \Delta r^2(t) \rangle$)



som funktion af tiden. Tid og afstand er angivet i karakteristiske simuleringsenheder. Afstandsenheden svarer til ca. 1 Ångstrøm, tidsenheden til ca. et picosekund. I seje væsker er det specielt overgangen (angivet ved plateauet) fra den såkaldte ballistiske bevægelse ved meget korte tider til den diffusive bevægelse ved længere tider, der er interessant.

Med GPU-baserede simuleringer kan vi studere denne overgang i betydelig længere tid end med CPU-baserede simuleringer. Ved den laveste temperatur kommer systemet først i ligevægt efter tre måneders simulering. Hvis en tilsvarende simulering var foretaget på en CPU-baseret computer, ville det have taget omtrent seks år med den hurtigste CPU, man har til rådighed i dag!

Cooee-projektet

Projektet er støttet af Det Strategiske Forskningsråd, og er et samarbejde mellem "Glas og Tid" (RUC), Vejdirektoratet, DTU samt entreprenør-virksomheden NCC. Projektet "From Micro to Nano" er endvidere støttet af Lundbeckfonden (projekt R49-A5634).

Videre læsning

J. Sanders og E. Kandrot, CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming, NVIDIA Corporation (2011).

R. Tsuchiyama et al., Programming Book, Fixstars corporation (2010).

"Glas og Tid" hjemmeside: <http://glass.ruc.dk>.

Cooee-projektets hjemmeside: <http://www.cooee-co2.dk>.

B. Schmidt og J. C. Dyre, CO₂ emission reduction by exploitation of rolling resistance modelling of pavements, *Procedia* 48, 311 (2012); J. S. Hansen et al., Four-Component united-atom of bitumen, *J. Chem. Phys.* (i trykken).

L. Böhling et al., Do the repulsive and attractive pair forces play separate roles for the physics of liquids?, *J. Phys.: Condens. Matter* 25, 032101 (2013); T.S. Ingebrigtsen et al., What is a simple liquid?, *Phys. Rev. X* 2, 011011 (2012).

Fantasi til at være interdisciplinær

På bagsiden af *Aktuel Naturvidenskab* 6, 2012, skriver Carsten R. Kjaer at han muligvis har en for begrænset fantasi til at komme i tanke om eksempler, hvor »... naturvidenskabelig forskning på det lavpraktiske niveau vitterligt befrugtes af metoder og tankesæt fra helt andre hovedområder.«

Forfatter



Anna Julie Rasmussen,
Ph.d.-studerende,
Center for Bioetik
og Nanoetik, Aarhus
Universitet.
AJR@teo.au.dk

Det tror jeg nu ikke han har, men jeg vil da gerne låne ham og andre, der synes de har samme problem, lidt af min. Interdisciplinær forskning finder allerede sted på tværs af hovedområder på Aarhus Universitet. Hvis man kigger i det Research Catalogue, som hovedområdet Health har udgivet, kan man se flere eksempler på samarbejde med hovedområderne Science and Technology (eks: Biomembranes, Molecular pathogenesis and pathophysiology), Business and Social Sciences (eks: Medical genetics and epigenetics, Neuro-rehabilitation) og Arts (eks: Global health, Health services research). Så hvorfor skulle der ikke også findes eksempler på tværfagligt samarbejde mellem naturvidenskaben, humaniora og samfundsvidenskab? For eksempel opfordres studerende på hovedområdet "Science and Technology" til at tage kurser i innovation og management på hovedområdet "Business and Social Science", fordi man anser disse kompetencer som værdifulde for en naturvidenskabelig forsker.

Interdisciplinært samarbejde er vigtigt

Når man tænker over det er det ikke så overraskende, at et sådant samarbejde på tværs af discipliner kan finde sted. At tænke interdisciplinært er efterhånden blevet synonymt med forskning, og ikke kun fordi det er der, forskningsmilliarderne er, men i lige så høj grad fordi forskningen og forskerne i dag påvirkes af det omkringliggende samfund, ligesom samfundet påvirkes af forskningen. Denne påvirkning er medvirkende til, at forskningen orienteres mere og mere mod løsning af vidtrækkende og meget komplekse problemstillinger, der går på tværs af landegrænser, kulturer, sociale lag og religion mm. Netop derfor er interdisciplinært samarbejde vigtigt.

For at tage det samme eksempel som Carsten R. Kjaer, så lad os se på problemet med at skaffe rent drikkevand på en global skala: Først og fremmest ligger der ikke udelukkende teknisk-naturvidenskabelige betragtninger til grund for, at dette ses som en global problemstilling, der er værd at gøre noget ved. I beslutningen om at forske i membraner til filtrering af salte fra havvand fremfor forskning i forbedret spildevandsrensning, er der foretaget en lang række ikke-naturvidenskabelige overvejelser som for eksempel: Hvad er økonomisk fornuftigt at satse på (mht. materialer, tidshorisont osv.)? Hvilken løsning vil være nemmest for folk at acceptere (vandet i toiletterne i Danmark er lige så rent som det i hanen, men de færreste tænker på at bruge det som drikkevand)? Så selv inden den teknisk-naturvidenskabelige forsker er kommet i gang med sit arbejde foretages der

interdisciplinære overvejelser. Men hvordan kan et samarbejde med forskere fra andre discipliner gavne under selve forskningsprojektet? For eksempel kan det være gavnligt at overveje, om der skal sættes på avancerede materialer og et "proof of concept", eller om der skal bruges mere tid og flere kræfter på at finde en løsning, der er billig og let tilgængelig? Her ville man som naturvidenskabelig forsker kunne nyde godt af kompetencer inden for business, økonomi, antropologi, etik og sikkert mange flere. Jeg siger ikke, at disse kompetencer er vigtigere end de teknisk naturvidenskabelige, men blot at forskningen ville befrugtes af netop sådanne overvejelser.

Manglende fantasi til at se sammenhænge

Hvis tanken med forskningen i sidste ende er et produkt eller en ny teknologi til løsning af et specifikt problem, (for eksempel rent drikkevand) er der igen en række overvejelser som et interdisciplinært team ville kunne hjælpe til at løse, som for eksempel: Hvor bør produktet være tilgængeligt og til hvilken pris? (Hvem har størst behov? Hvem kan betale? Hvem kan håndtere produktet?). Restriktioner til brugen af produktet? (Sikkerhed, "i de forkerte hænder"). Hvor skal produktionen finde sted? (Arbejdspladser, arbejdsmiljø).

Disse overvejelser og mange flere stammer fra den humanistiske forskning, altså forskningen i, hvad mennesker er, gør, vil osv. Man kan sagtens forske i og udvikle verdens "bedste" (ud fra nogle laboratorierelevante kriterier) vandfiltre – men hvis anvendelsen af disse filtre i praksis viser sig problematisk pga. af kulturelle, sociologiske, etiske, religiøse, økonomiske, politiske (osv.) aspekter, så har man ikke et godt resultat af sin forskning. Ved at gøre sig disse overvejelser og løse potentielle problemer under selve forskningsprojektet vil det produkt (den løsning), der i sidste ende er resultatet, være mere brugbar for det omkringliggende samfund. Der er forskningsprojekter, som er mere egnede til interdisciplinære grupper end andre, men med Carsten R. Kjaers ord så skyldes det måske kun, at vi endnu ikke har fantasi til at se de sammenhænge, der eksisterer.

Jeg vil gerne medgive, at der nok ikke findes en »... særlig antropologisk eller business-agtig« måde at presse vandmolekyler hurtigt gennem en membran, men jeg vil påstå, at både antropologi og business er områder, der ville kunne bidrage væsentligt til løsningen af den overordnede problemstilling: At skaffe rent drikkevand til verdens befolkning på en bæredygtig måde. ■

VIDEN I VÆKST



Gør videnskab til din lidenskab





MØD AARHUS UNIVERSITET

BESØG OS

Hør faglige foredrag, deltag i øvelser i laboratorierne og få en rundvisning på universitetet. Arrangementer kan være for én eller flere klasser.

scitech.au.dk/besoeegsservice

OFFENTLIGE FOREDRAG I NATURVIDENSKAB

Aarhus Universitet fortsætter rækken af aftenforedrag med over tusinde tilhørere i Universitetsparkens Søauditorier. Hvis du som lærer vil deltage med din klasse til ét af foredragene, så skriv til holbech@science.au.dk senest to uger før.

scitech.au.dk/foredrag

FORSKNINGENS DØGN

Aarhus Universitet holder fredag den 3. maj 2013 kl. 13-18 Forsknings Døgn med temaet SMART ENERGI. Det foregår på Campus Aarhus. Der vil også være arrangementer på nogle af AU's øvrige lokaliteter, f.eks Roskilde, Årlev, Foulum og Emdrup.

au.dk/fd

LÆS VORES NYHEDSBREV

RØMER er Aarhus Universitets populærfaglige nyhedsbrev inden for de naturvidenskabelige og tekniske videnskaber. Det er elektronisk og udkommer månedligt.

scitech.au.dk/roemer



**FIND DIN DRØMMEUDDANNELSE PÅ
AARHUS UNIVERSITET**

Læs mere på:



bachelor.au.dk



scitech.au.dk

BOGANMELDELSE

UDGIVELSER

Et lysglimt af en meteoritbog

Anmeldt af Gunnar Larsen,
geolog, NIRAS, gla@niras.dk

Meteoritter er interessante, fordi de fortæller om Jordens og Solsystemets skabelse, men de er også fascinerende som særdeles håndgribelige besøg fra det ydre rum. Og her i landet er vi så privilegerede, at vi i København kan se en af verdens fineste meteoritsamlinger på den permanente udstilling på Statens Naturhistoriske Museum. Privilegerede er vi også ved, at samlingens kurator, geofysikeren Henning Haack, er en estimeret forsker på området og samtidig en god og medrivende fortæller, der nu har udgivet en bog på dansk om emnet.

Maribo-meteoritten

Bogen starter med et brag, eller nærmere et kraftigt lysskær. Det er Maribo-meteoritten, der gør sin entré på scenen i 2009. Som det gælder for mange naturvidenskabelige opdagelser, har meteoritfundet et opklaringsplot som en krimi. En skånsk gårdejer har på et overvågningskamera, sat op mod ubudne gæster, filmet meteorittens bane. En radar på Rügen registrerede den og rigtig mange øjenvidner så og hørte den. Især en dansk mejerieringenør i Polen kom med vidnesbyrd, der pegede på Lolland som nedslagssted. Og mest bemærkelsesværdigt lykkedes det den tyske meteoritjæger Thomas Grau efter 6 dages søgning i et 10 x 10 km stort område at finde et stykke på størrelse med en valnød.

Efter den indledende spændende historie om Maribo-meteoritten, fortsætter bogen med kort at sætte begreber som asteroider, meteoritter og meteorkraterer på plads. Derefter gennemgås de mest spændende meteorkraterer, fx Tunguska i Sibirien, der blev dannet i 1908 ved en eksplosion 1000 gange kraftigere en atombomben over Hiroshima. Der nævnes også 7 kraterer i Sverige, 3 i Norge og 8 i Finland. Det nærmeste er i Skåne, men det er også værd at besøge Ries-krateret i Sydtykland, hvor 2 asteroider slog ned og dannede et dobbeltkrater.

Agpalik – verdens største meteorit

Også de forskellige kendte meteoritter gennemgås i bogen, hvoraf mange findes på Statens Naturhistoriske Museum. At vi i Danmark har en så fin samling i international målestok, skyldes den nære tilknytning til Grønland, eller mere præcist en byge af meteoritter, der ramte Cape York. Den første af Cape York-meteoritterne blev fundet af polarforskeren Robert Peary i



1894, og der er i alt fundet 58 tons, hvoraf de 20 tons udgøres af en enkelt jernmeteorit. Meteoritten, der fik navnet Agpalik, blev fundet i 1963 af Vagn Buchwald, der havde metallurgi som forskningsfelt. Den er til dato den største meteorit, der er fundet, og den skive af meteoritten, som kan ses på museet, er verdens største meteoritskive.

Efter en tur omkring solsystemets dannelse slutter bogen med historier om meteoritjagt i Antarktis og Grønland, der er forfatterens egne rejseberetninger. Her får man et indblik i udfordringerne ved udforskning i polaregne.

Læs bogen. Man bliver klogere og er godt underholdt med de medrivende beretninger. Læsningen kan så kombineres med besøg på Statens Naturhistoriske Museum. Og tag så derefter selv på meteoritjagt. Selv om der kun er fundet 3 meteoritter i Danmark, ved Mern i 1878, Aarhus i 1951 og som nævnt Maribo i 2009, falder der ca. 3 meteoritter om året i landet. De er derude et sted!

Henning Haack: *Meteoritter*
Gyldendal 2012, 189 sider, 169,95 kr. ■

Isaac Newton

– geniet og mennesket

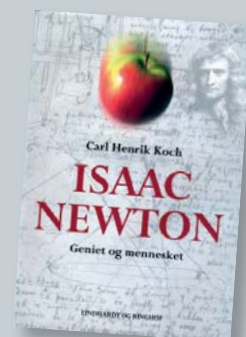
Isaac Newton regnes med rette som en af de største videnskabelige skikkelser i historien. Newton opdagede tyngkekræften, grundlagde den moderne fysik, den eksperimentelle metode og forenede matematikken med naturvidenskaben.

Han viede en lige så stor andel af sin tid til filosofiske spørgsmål om verdens indretning, Guds væsen og alkymistiske forsøg. Derudover reformerede han det engelske møntsystem og var på forskellig vis involveret i den stormfulde tid, hvor England oplevede revolution på revolution. Om alt dette handler filosof og videnskabshistoriker

Carl Henrik Kochs store nye værk om Newton.

Carl Henrik Koch:
Isaac Newton

– geniet og mennesket. Lindhardt og Ringhof 2013.
768 sider,
399,95 kr.



Matematiske mysterier

Matematiske mysterier præsenterer en række af de største og mest svimlende udfordringer inden for matematikken.

Tilsyneladende paradokser i sandsynlighedsteorien og mængdelæren, primtallenes uransagelige og u håndgribelige natur samt matematikkens pludselige og overraskende forvandling i forrige århundrede gennemgås i denne bog sammen med flere andre matematiske mysterier.

Bogen er redigeret af Hans Anton Salomonsen, og de enkelte kapitler er skrevet af forskellige matematikere og videnskabshistorikere ved Aarhus Universitet.

Bogen er skrevet i en fortællende stil og henvender sig til en bred kreds af læsere.

Hans Anton Salomonsen (red):
Matematiske mysterier. Aarhus Universitetsforlag
2013. 212 sider,
249,95 kr.



Aktuel NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Science & Technology, i samarbejde med:

- Danmarks Tekniske Universitet
- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet og Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- Roskilde Universitetscenter
- Danmarks Meteorologiske Institut.

Styregruppe

- **Bo T. Andersen**, afdelingsleder, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Joachim Groth**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Tine Kjær Hassager**, kommunikationschef, Danmarks Tekniske Universitet
- **Niels Kring**, chefkonsulent, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Nielsen**, videnskabsjournalist, Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet
- **Jens Christian Pedersen**, kommunikationschef, AU Kommunikation, Science and Technology, Aarhus Universitet

Redaktionsgruppe

- **Mette Christina Møller Andersen**, Det Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet
- **Michael Bjerring Christiansen**, Aarhus Statsgymnasium
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Niels Hansen**, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Thomas Johansen**, Københavns Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Carsten Nielsen**, Aalborg Universitet
- **Hans Ramløv**, Roskilde Universitet
- **Line Reeh**, DTU AQUA, Danmarks Tekniske Universitet

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

Ansvarshavende

Kommunikationschef Jens Chr. Pedersen

Redaktion

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

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse: Aktuel Naturvidenskab, Ny Munkegade 120, Bygn. 1520, 8000 Århus C

Abonnementspris 2013

294 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms og porto.

Abonnementsservice

Portoservice, Postboks 9490, 9490 Pandrup

Telefonnr.: 70 25 55 12

e-post: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Eller via hjemmesiden: www.aktuelnaturvidenskab.dk

Layout og illustration: Britta Munter

Tryk: Jørn Thomsen/Elbo A/S

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

Oplag: 8.800



Omslagsfoto: Civilingeniør Anders Stengaard Sørensen fra SDU demonstrerer sin træningsrobot, der kan hjælpe patienter med lammelser med genoptræning. Foto: Mikkel Cantoni, Hyldeager Fotografi.

Fagpanel

Aktuel Naturvidenskab samarbejder med en bred skare af fagfolk, der stiller deres faglige viden til rådighed for bladet.

- **Flemming Besenbacher**, professor, Interdisciplinært Nanoscience Center (iNANO), Aarhus Universitet
- **Claus Hviid Christensen**, senior manager, Innovationscenter, Dong Energy
- **Jesper Dahlgaard, ph.d.**, Aarhus Universitetshospital og Psykologisk Institut, Aarhus Universitet.
- **Ture Damhus**, Kemiker ved Novozymes samt formand for Kemisk Forenings Nomenklaturudvalg
- **Søren B. F. Dorch**, astrofysiker ph.d., Københavns Universitetsbibliotek, adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- **Michael Drewsen**, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- **Claus Emmeche**, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
- **Tom Fenchel**, professor emeritus, Marinbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
- **Jens Morten Hansen**, statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet
- **Vagn Lundsgaard Hansen**, professor, Inst. for matematik, Danmarks Tekniske Universitet
- **Peter K.A. Jensen**, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital
- **Mikkel Willum Johansen**, adjunkt i de matematiske fags videnskabsteori, Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet
- **Anne Mette K. Jørgensen**, leder af Danmarks Klimacenter, Danmarks Meteorologiske Institut
- **Peter C. Kjærgaard**, professor, Institut for Kultur og Samfund, Aarhus Universitet
- **Gunnar Larsen**, geolog, NIRAS.
- **Bent Lauge Madsen**, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).
- **Sebastian H. Mernild**, Klima- og Polarforsker, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA
- **Ole G. Mouritsen**, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
- **Bent Nielsen**, gymnasielektor, Københavns VUC.
- **Jens Olaf Pepke Pedersen**, seniorforsker, DTU Space.
- **Kaj Sand-Jensen**, professor, Sektion for Ferskvandsbiologi, Biologisk Institut, Københavns Universitet.
- **Theresa S. S. Schilhab**, forsker, Forskningscentret Gnosis, Aarhus Universitet
- **Klaus Seiersen**, ph.d., Aarhus Sygehus, Afd. for Medicinsk Fysik.
- **Torben Lund Skovhus**, konsulent, ph.d., Teknologisk Institut.
- **Carl-Erik Sølberg**, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

GRUNDFOS



GAVE med viden

**Intropakken – en oplagt gaveide**

Bestil en intropakke med de seneste otte numre samt abonnement i ét år (6 numre). Pris kun kr. 354,- inkl. moms, porto og ekspedition (merpris for udland).

Bestil via aktuelnaturvidenskab.dk
 abo@aktuelnaturvidenskab.dk
 eller på tlf. 70 25 55 12..

Abonnementsservice

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

Kontakt abonnementsservice på

Telefon: 70 25 55 12

Mandag-torsdag kl. 8-16, fredag kl. 8-14.

e-post: 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.

Adgang til pdf-udgave

Som noget helt nyt kan abonnenter nu hente artiklerne som pdf allerede på udgivelsesdagen via hjemmesiden:

Brugernavn: **aktuel-nat**

Kodeord: **mdy74gds**

Du logger på via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk hvor du vælger punktet "Nyeste numre" (1-2013). Herefter kan du logge på i højre side.

Viden på vej til gymnasier

Edderkopper på Zoologisk Museum

Indtil den 4. august 2013 kan man opleve Statens Naturhistoriske Museums særudstilling Edderkopper, der vises på Zoologisk Museum i København.

Otte øjne, giftkirtler og et dårligt rygte. Edderkopper får det til at løbe koldt ned ad ryggen på mange, men faktisk kan de være utroligt smukke og har en levevis, der er fascinerende som et godt teaterstykke. Den nye udstilling ser forbi den uhyggelige overflade og inviterer publikum indenfor i lyse lokaler, hvor edderkoppers historie bliver fortalt og formidlet i et smukt samspil mellem naturhistorie og kunst.

På udstillingen kan du se et skiftende udvalg af levende edderkopper i alle former og farver, inkl. Goliath-edderkoppen, der er verdens største edderkop. Blandt meget andet kan du også opleve:

- Det gyldne sjal - vævet af silke fra 41.000 Nephila-edderkopper og skabt af Nicholas Godley og Simon Peers
- Farvestrålende glasedderkopper skabt af den engelske glaskunstner Neil Wilkin.
- Syret ingeniørkunst – Guillaume Lehoux' berømte skåle, der er inspireret af edderkopper på stoffer
- Skinnets bedrager – en 1,7 meter høj edderkop i læder formgivet af en af Danmarks førende modelmagere Esben Horn. Kravl op på den eller giv den et knus, når den hilser dig velkommen ved indgangen til udstillingen.



Foto: Virginia Settepani

Blandt verdens mere end 41.000 arter af edderkopper er *Stegodyphus sarasinorum* en af de kun ca. 25 arter, der lever i sociale fællesskaber og jager i flokke, som vist på billedet hvor en græshoppe er blevet overmandet.

På Zoologisk Museum kan man se en anden art af *Stegodyphus* – nemlig *Stegodyphus dumicola*, som i deres terrarium i fællesskab har lavet en tæt kugle af spind, der er omgivet af et stort fangstspind. Når fangstspindet forstyrres, vrimer sultne edderkopper ud af spind-kuglen og angriber i flok.

Når det bliver svært...

Af Carsten R. Kjaer

Drømmen om den store økonomiske gevinst er en vældig drivkraft i vores samfund. Hvis man gerne vil have løst et eller andet problem, kan det derfor være en god ide at lokke med en stor kontant pengepræmie. Og det gælder vel også videnskabelige problemstillinger må rationalet have været, da Clay Mathematics Institute ved årtusindeskiftet udlovede en million dollar til løsningen af syv – på det tidspunkt – endnu uløste matematiske problemer. En million dollar er mange penge for de fleste matematikere (går jeg ud fra), men om pengepræmien har inspireret en masse matematikere til en ekstra indsats ved jeg ikke. Til gengæld er det et faktum, at kun et af de syv problemer (den såkaldte Poincaré-formodning) officielt er blevet løst siden præmierne blev udlovet. Og så gad den dygtige problemløser, den russiske matematiker Grigori Perelman, ikke engang have pengene! Så meget for ideen om det økonomiske incitament...

Nu kan man næppe udlede de store konklusioner om videnskabsfolks adfærd ud fra dette ene eksempel. Men jeg tror alligevel godt jeg vil vove et øje og forudsige, at næste gang et af de tilbageværende 6 matematiske problemer bliver løst, vil det heller ikke være af en matematiker, der har gjort det for pengenes skyld (selvom det selvfølgelig ikke udelukker, at vedkommende vil modtage pengepræmien).

Videnskabelige incitamenter

En ting, der altid har fascineret mig ved videnskab, er, hvordan forskere kan være fuldstændig kompromisløst optaget af grave sig ned i emner kun få andre umiddelbart kan se rækkevidden af. Tilsyneladende uden tanke på, hvad belønningen i den anden ende måtte være. Videnskabsfolk er selvfølgelig lige så forskellige som alle andre mennesker både hvad angår engagement i deres arbejde og hvad der motiverer dem. Men man kan måske godt opstille den hypo-

tese, at jo mere dybt og svært et videnskabeligt problem er at løse, jo mindre sandsynligt er det, at et gennembrud faktisk vil ske som følge af lokkende rigdom i den anden ende. Det ligger vel lidt i tankegangen hos dem, der motiveres af tanken om rigdom, at det gælder om at vælge den hurtigste vej til målet, og den går stensikkert ikke hen over løsningen af et umådeligt kompliceret videnskabeligt problem.

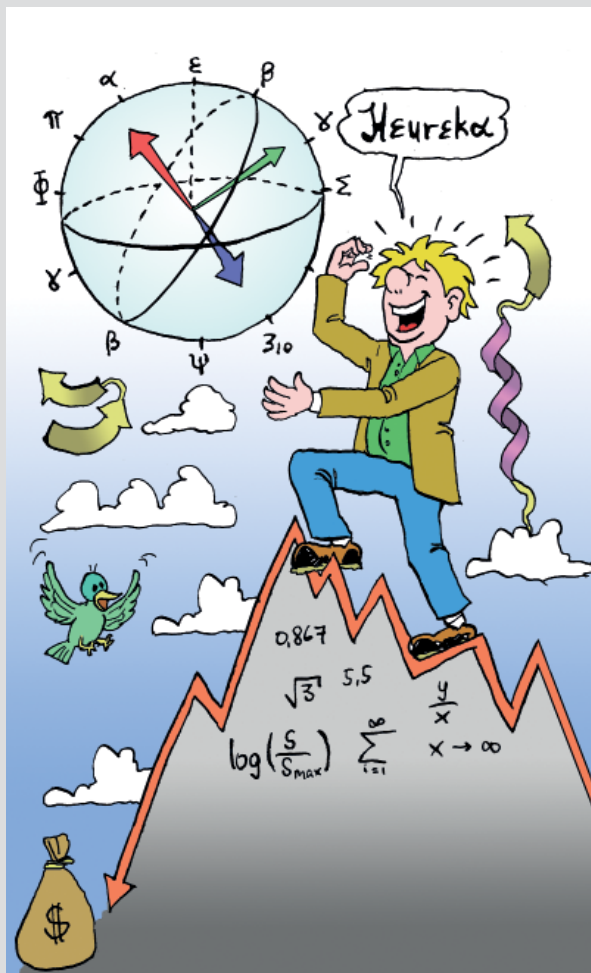
Hurra for de skæve

Faktisk pågår der i videnskabelige kredse en løbende diskussion af, at det kan være et problem, at forskerne af hensyn til karrieren bliver nødt til at fravælge de "svære", men meget perspektivrige, emner inden for deres felt. Som det videnskabelige belønningssystem er skruet sammen – hvor man regner i antal afhandlinger og

citeringer – kommer man nemlig hurtigt bagud på point, hvis man beskæftiger sig med svære emner, der ikke hurtigt kan kaste en flok afhandlinger af sig.

Men så er der jo personer som Grigori Perelman, hvis motivation man kun kan gisne om. Han var nemlig heller ikke interesseret i anerkendelse, som ellers er gud inden for det videnskabelige system. På trods af flere overtalelsesforsøg nægtede han således også at modtage Fields-medaljen, der er en af matematikernes ypperste hædersbevisninger.

Den lommefilosofiske pointe er måske, at når en udfordring bliver interessant nok – hvad enten det drejer sig om et matematisk problem eller et tilsyneladende ubestigeligt bjerg – så vil der altid være nogen, der vier deres liv til overvinde udfordringen, blot for at bevise, at det kan lade sig gøre. Selvom det kan virke fuldstændig tosset for os gennemsnitsborgere er jeg ikke et sekund i tvivl om, at disse mennesker gør verden til et mere interessant sted at være.



Tegning: Ebbe Sloth Andersen