

Aktuel

NATURVIDENSKAB

3 | 2 0 0 6 august



Tema:

**De 10 største
naturvidenskabelige
erkendelser**

Redaktionelt

Aktuel Naturvidenskab

Udgiver

Det Naturvidenskabelige Fakultet,
Aarhus Universitet i samarbejde med
Danmarks Farmaceutiske Universitet
Danmarks Tekniske Universitet
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole
Det naturvidenskabelige Fakultet,
Københavns Universitet,
Roskilde Universitetscenter
Det Naturvidenskabelige og Tekniske
Fakultet, Syddansk Universitet og
Det teknisk-naturvidenskabelige
Fakultet, Aalborg Universitet samt
Danmarks JordbrugsForskning,
Danmarks Meteorologiske Institut og
Teknologisk Institut.

Ansvarshavende

Dekan Erik Meineche Schmidt

Redaktion

Jørgen Dahlgaard og
Carsten Rabæk Kjaer.

Postadresse

Aktuel Naturvidenskab
Ny Munkegade, Bygn. 1520
8000 Århus C
Tlf.: 8942 5555, Fax: 8942 3596
E-post: red@aktuelnat.au.dk
Hjemmeside: www.aktuelnat.au.dk

Redaktionskomite

Rikke Bøyesen,
Københavns Universitet.
Peter Bondo Christensen,
Danmarks Miljøundersøgelser.
Janne Hansen,
Danmarks JordbrugsForskning
Niels Hansen,
Danmarks Meteorologiske Institut
Peter Hoffmann,
Danmarks Tekniske Universitet.
Annette Houman,
Danmarks Farmaceutiske Universitet.
Sune Nordentoft Lauritsen,
Danmarks Rumcenter.
Tor Løkken,
Aalborg Universitet.
Anne Kathrine Overgaard
Syddansk Universitet.
Leif Sønderberg Petersen
Forskningscenter Risø
Hans Ramløv,
Roskilde Universitetscenter.
Ole Schmidt,
Amtsgymnasiet i Hadsten
(Fysiklærerforeningen).
Annemarie Søgaard,
Teknologisk Institut
Lykke Thostrup,
Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.

Abonnementspris 2006

261 kr. i DK for 6 numre, inkl. moms
Abonnementsservice:
Oxygen Media Service
Postbox 865, 2400 København NV
Telefon: 3816 8026 (hrd. kl. 9 - 13)
email: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Layout: Jørgen Dahlgaard.

Oplag: 10.000

ISSN 1399-2309

Tryk: Elbo Grafisk A/S

Deadline til nr. 5 - 2006:
den 20. oktober, 2006.

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

Illustration på forsiden:
Carsten Broder Hansen.



Kære læser

Vi har med dette nummer fornøjelsen af at præsentere dig for det første dedikerede temanummer i Aktuel Naturvidenskabshistorie. Normalt vil vi ikke afsætte et helt nummer til et tema, men med netop dette tema – Naturvidenskabens største erkendelser – har vi valgt at gøre en undtagelse. For der skulle gerne være sikkerhed for, at der er noget for enhver smag i dette nummer!

Udgangspunktet for det projekt, der nu er udmøntet i dette temanummer, var oprindeligt et forslag fra Indblikredaktør Pierre Collignon, Morgenavisen Jyllands-Posten. Hans ide var, at Aktuel Naturvidenskab og Jyllands-Posten i fællesskab skulle udpege de ti største naturvidenskabelige erkendelser. Vi valgte at tage udfordringen op, og Aktuel Naturvidenskab har så i praksis været entreprenører på projektet. Udgivelsen er koordineret med Jyllands-Posten, som søndag den 6. august har bragt et større tema baseret på artiklerne i dette temanummer.

Det lå ikke i kortene fra projektets start, at vi skulle lave et helt temanummer, så beslutningen om dette har udviklet sig undervejs. Og denne beslutning har da også fået nogle konsekvenser, idet vi har måttet bytte om på udgivelserne, så det nummer, der oprindeligt var planlagt som nr. 3 nu i stedet bliver nr. 4. Samtidig har vi måttet forsinke udgivelsen af temanummeret til begyndelsen af august frem for som oprindeligt planlagt i juni, for at koordinere udgivelsen med Jyllands-Postens lancering af temaet. Vi beklager de gener det måtte afstedkomme overfor abonnenter, som måske har undret sig over, hvor nr. 3 blev af. Til gengæld udkommer nr. 3 og 4 meget tæt på hinanden, idet vi regner med at udgive nr. 4 om en lille måned.

Vi vil også gerne byde Teknologisk Institut velkommen i kredsen af institutioner, der samarbejder om Aktuel Naturvidenskab. Teknologisk Institut kan i år fejre deres 100 års jubilæum, og vi kan derfor passende benytte lejligheden til at sige tillykke!

God fornøjelse!

CRK / JD

Aktuel Naturvidenskab udgives med støtte fra
Forskningsrådet for Natur og Univers, Forskningsrådet for Teknologi
og Produktion samt Morgenavisen Jyllands-Posten

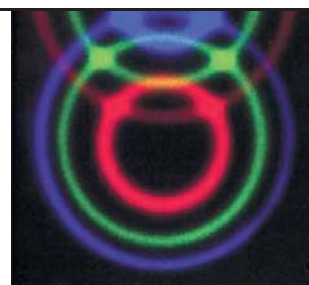
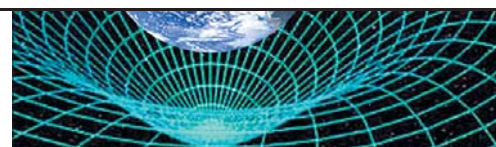
Det nye Redaktionsudvalg har følgende medlemmer:

Kaj Sand-Jensen, professor; Peter Bondo, seniorforsker; Carsten Broder Hansen, cand. scient.;
Torben Lund Skovhus, konsulent; Pierre Collignon, Indblikredaktør, Morgenavisen Jyllands-Posten
samt de to daglige redaktører: Carsten R. Kjaer og Jørgen Dahlgaard

Indhold

Forskning og nyheder

Naturen kan forklares uden myter.....	6
<i>Den mest fundamentale naturvidenskabelige erkendelse er den erkendelse – eller påstand – at naturen kan gøres til genstand for erkendelse baseret på observationer og rationel tænkning.</i>	
Newtons love	9
<i>Det er fysikkens allerstørste erkendelse, at f.eks. månens bevægelse eller et penduls svingninger ikke bare må tages til efterretning, men følger fysiske love. Formuleringen af lovene har haft stor indflydelse på eftertidens fysik.</i>	
Evolutionslæren	12
<i>At alt liv er beslegtet, og at der findes en mekanisme, der kan forklare udviklingen af kompleksitet uden behov for en "intelligent designer" er den vigtigste erkendelse i biologiens historie.</i>	
Termodynamikken.....	15
<i>Termodynamikken – eller varmelæren – udgør grundlaget for de tekniske videnskaber, og dermed for en række tekniske udviklinger.</i>	
Verden består af atomer	18
<i>Erkendelsen af, at vi selv, og den verden, der omgiver os er bygget op af atomer er den afgørende erkendelse i naturvidenskabens beskrivelse af virkeligheden.</i>	
Relativitetsteorien	20
<i>Fundamentale begreber som tid, rum, samtidighed, masse, tyngdekraft og energi involverer alle relativitetsteorien.</i>	
Økologien	23
<i>En række erkendelser har været vigtige for udviklingen af økologien – forståelsen af vekselspillet i naturen mellem arterne, miljøet og mennesket.</i>	
Kvantemekanikken	26
<i>Den klassiske fysik og vores hverdagserfaringer siger, at årsag og virkning altid følges ad. I kvantefysikken er det derimod ikke tilfældet.</i>	
Pladetektonikken.....	28
<i>At Jordens overflade konstant ommobleres af vældige tektoniske plader, der flytter kontinenterne rundt og forårsager jordskælv og vulkanudbrud, fremstår i dag som den fundamentale teori inden for geovidenskaberne.</i>	
DNA-dobbeltspiralen	30
<i>Klarlæggelsen af DNA-molekylets struktur i 1953 var et højdepunkt i genetikens udvikling. Et helt nyt fagområde var født: molekylærbiologien.</i>	
Kort nyt	32



Perspektiv og debat

Naturen i Danmark - skrevet af forskerne	34
<i>Næsten 100 forskere i biologi, geologi og økologi har investeret 10 årsværk i at skrive storværket Naturen i Danmark på Gyldendal. Hvorfor?</i>	

Bøger og service

Bøger: Dansk Naturvidenskabs Historie – bind 3 og 4, Röntgen og de mystiske stråler, Hertz og de elektromagnetiske bølger samt Meitner og spaltningen af uran.	36
---	----



De største naturvidenskabelige erkendelser



Grafik: Ebbe Sloth Andersen

Af Carsten R. Kjaer og Jørgen Dahlgaard

■ Når man betragter alt det, som naturvidenskaben har opnået gennem tiden, hvad er så egentlig de vigtigste erkendelser? Er der en kerne af "grunderkendelser", som forskerne bygger deres arbejde på i dag? Dette spørgsmål forsøger vi at besvare i dette temanummer, hvor vi giver et bud på naturvidenskabens 10 største erkendelser.

Projektet kan ses i naturlig forlængelse af den meget polemik om den ministerielle "kul-

turkanon" fra januar måned, som helt undlod at komme ind på naturvidenskab.

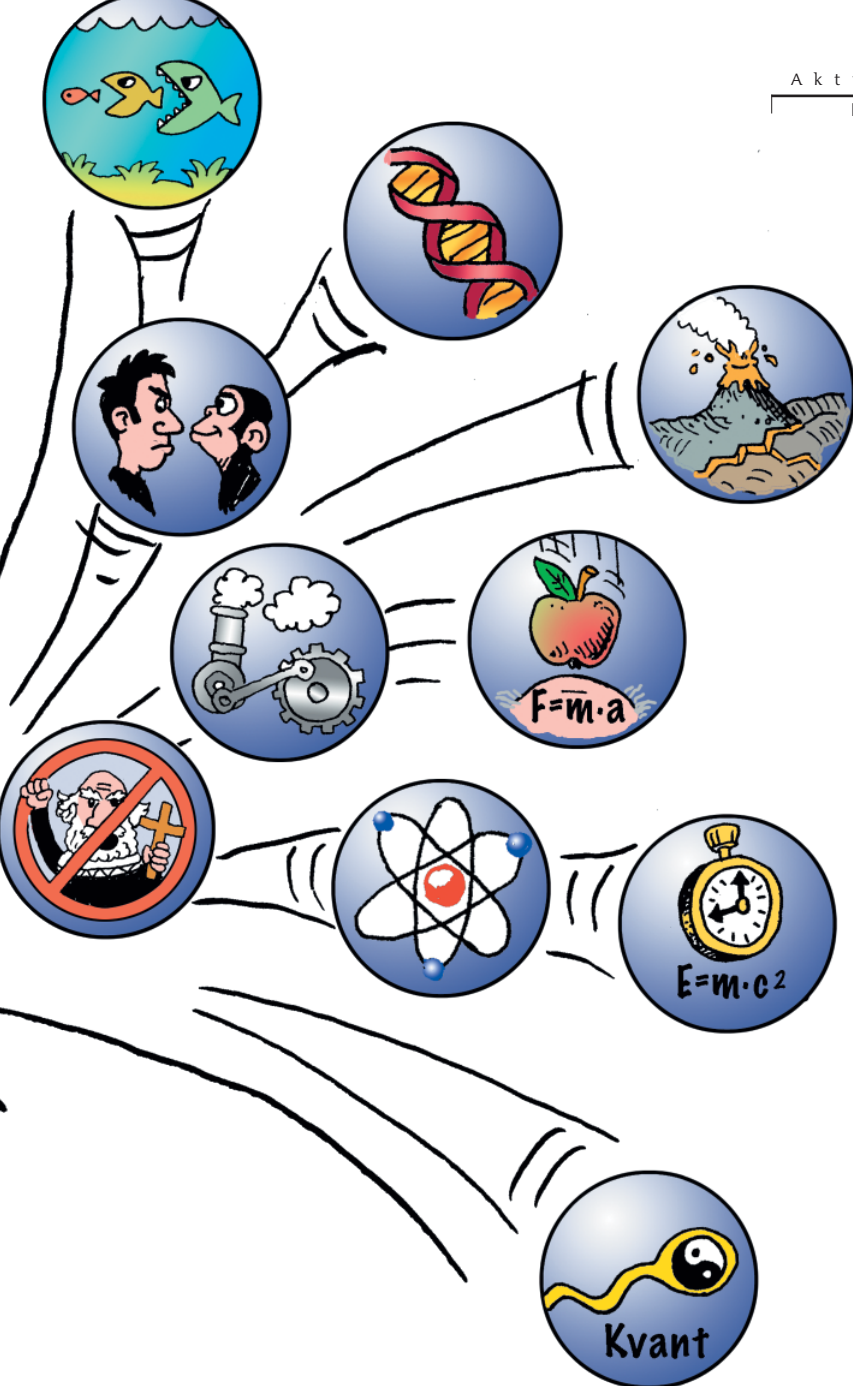
Udvælgelsens kunst

At udpege de ti største naturvidenskabelige erkendelser er ikke noget, man gør i en tænksom stund over aftenkaffen! Vores udgangspunkt var at invitere et bredt udvalg af forskere til at give deres bud på, hvad der er den største erkendelse inden for dels deres eget fagom-

råde og dels naturvidenskaben generelt. Vi har så efter bedste evne forsøgt at udtrække essensen af disse input, således at de kunne samles til en liste med 10 nogenlunde ligeværdige punkter. Endelig har vi så bedt 10 af bidragerne om at udbyde deres indlæg til en egentlig artikel. Der er altså ikke tale om et demokratisk kondensat af de bidrag, vi har fået ind, men om vores subjektive fortolkning af dette materiale.

Kunsten har været at opstille kriterierne. En erkendelse kan således have meget stor betydning for naturvidenskaben selv, mens den stort set ingen praktisk betydning har for almindelige mennesker. Omvendt kan en erkendelse have stor betydning for teknologiuudviklingen, mens den ikke har den store betydning for vores verdensopfattelse.

De fleste forskere, der har deltaget i vores undersøgelse, har fokuseret mest på, hvad erken-



De ti største erkendelser:

1. Naturen kan forklares uden myter
2. Newtons love
3. Evolutionslæren
4. Termodynamikken
5. Verden består af atomer
6. Relativitetsteorien
7. Økologien
8. Kvantemekanikken
9. Pladetektonikken
10. DNA's struktur

Rækkefølgen af punkter er i højere grad rangordnet efter deres historiske optræden end efter hvor vigtige de er i forhold til hinanden.

Tak til

Oprindeligt blev ideen til at kaste os over den opgave at indkredse de 10 største naturvidenskabelige erkendelser foreslået af Indblikredaktør Pierre Collignon, Morgenavisen Jyllands-Posten, i det han gerne ville bringe et tema under denne overskrift. Aktuel Naturvidenskab har alene stået for udvælgelsen, hvorfor Jyllands-Posten ikke kan klandres, at den endelige liste er kommet til at se ud som den gør.

Udover forfatterne til dette nummer, vil vi gerne takke følgende for at have bidraget med input til projektet:

Michael Drewsen, lektor; Kristian Pedersen, lektor; Carl Erik Sølborg, lektor; Claus Hviid Christensen, lektor; Ole Mouritsen, professor; John Korstgård, professor; Anne Mette K. Jørgensen, meteorolog; Theresa S.S. Schilhab, forsker; Axel Michelsen, professor; Vagn Lundsgaard Hansen, professor; Lars Døvling Andersen, professor; Poul G. Hjorth, lektor; Rasmus Pagh, forskningsadjunkt; Mogens Henze, professor; Morten Colding Jørgensen, professor; Ole Bjerrum, professor; Kristian Hvidfelt Nielsen, adjunkt, Ole Caprani, lektor; Flemming Besenbacher, professor.

delsen har betydet for udviklingen af naturvidenskaben selv, og det bærer vores liste derfor præg af. Dermed er vi da også endt med en forholdsvis forudsigelig vifte af erkendelser. Men i vore øjne er det vigtigt at få bekræftet, at forhåndsfavoritterne faktisk også er dem, der blev peget på – ligesom det er interessant at høre argumenterne.

Erkendelsen i fokus

Selvom vores projekt har udviklet sig en del undervejs, har det hele tiden været filosofien, at det skulle være "erkendelserne", som var i centrum, frem for personer, opdagelser eller opfindelser.

Mens det selvfølgelig er meget svært at skrive om erkendelserne

uden at nævne navne, fylder epokegørende opdagelser eller specifikke opfindelser som kikkerten, mikroskopet og computeren ikke så meget i vores erkendelsestema. Vi er selvfølgelig fuldt ud klar over, at enkeltstående opdagelser eller udviklingen af ny teknologi kan have været den afgørende forudsætning for ny erkendelse. Det samme kan siges om matematikken og datalogien, som ikke har fået selvstændige punkter på erkendelseslisten.

Forfatterne kan kun gøres "ansvarlige" for deres eget punkt på listen – forstået på den måde, at de enkelte forfattere står inde for, at netop dette punkt er med på en liste over de 10 største naturvidenskabelige erkendelser.

Den enkelte forfatter kan derimod ikke gøres ansvarlige for de ni øvrige punkter på listen.

Skyd på kanonen

Vi opfatter ikke erkendelsesprojektet som afsluttet med dette temanummer. Frem for at påstå, at vores liste udgør den ultimative naturvidenskabs-kanon, opfatter vi den snarere som et oplæg til refleksion og diskussion i den naturvidenskabelige verden. Vi håber således også at få en masse konstruktiv kritik. Og vi vil selvfølgelig følge op på sagen i kommende numre.

Så har du en mening om sagen, så tøv endelig ikke med at give den til kende f.eks. på e-mail: red@aktuelnat.au.dk ■

Om forfatterne

Carsten R. Kjaer og Jørgen Dahlgaard er redaktører af Aktuel Naturvidenskab.

E-mail: red@aktuelnat.au.dk
Tlf.: 8942 5555

Anden læsning.

Biozoom nr. 1/2006 har et tema med titlen Naturvidenskabelig kanon.

Et bud på en dansk "naturvidenskabernes kulturkanon" er firebindsværket Dansk Naturvidenskabs Historie fra Aarhus Universitetsforlag.

Naturen kan forklares uden myter

Den mest fundamentale naturvidenskabelige erkendelse er den erkendelse – eller påstand – at naturen kan gøres til genstand for erkendelse baseret på observationer og rationel tænkning.

Af Helge Kragh

■ Når man skal udpege de største naturvidenskabelige erkendelser, må dette selvfølgelig være under skyldig hensyn til, at enhver erkendelse står i gæld til andre erkendelser og derfor ikke kan ses isoleret. Men der er én erkendelse, som alle andre naturvidenskabelige erkendelser kan siges at stå i gæld til, og som derfor passende kan indlede listen over de 10 største erkendelser. Og det er den erkendelse – eller påstand – at naturen overhovedet kan gøres til genstand for erkendelse baseret på observationer og rationel tænkning. Det er en erkendelse, der stammer fra en periode i historien, hvor der endnu ikke fandtes naturvidenskab, og den fandtes ikke i alle kulturer. Den måtte først opfindes, hvilket blev gjort af en lille gruppe græske tænkere for omkring 2500 år siden.

Fra myte til naturalistisk forklaring

De græske naturfilosoffer og matematikere fra det 4. århundrede f.v.t. stod i gæld til de ældre mesopotamiske og ægyptiske kulturer, som havde



Maleren Raphaels indtryk af de græske filosoffer som f.eks. Aristoteles, Platon, Euklid, Pythagoras m.fl.. Det var de græske tænkere, der første gang forsøgte at forklare hvorfor verden er som den er uden at henvise til guder eller gamle myter. Fresken findes på Vatikanmuseet i Rom. (Raffaello Sanzio: Scuola di Atene, 1509)

opnået imponerende resultater især inden for matematik, astronomi (eller astrologi) og praktisk kemi. Men denne

videnskab var næsten udelukkende orienteret mod praktiske opgaver inden for f.eks. administration, arkitektur, landbrug

og kalendervæsen i forbindelse med religiøse ceremonier. Man var tilfreds med, at den etablerede viden virkede i praksis,



Når man udsættes for naturens overvældende kræfter får man et indtryk af, hvilken udfordring det har været at frigøre sig for den forestilling, at f.eks. et vulkanudbrud måtte skyldes gudernes vrede. Her ses Etna i udbrud.

men man viste ingen interesse for at forstå, *hvorfor* den virkede – til dette var de religiøse myter fuldt ud tilstrækkelige.

De græske eller ioniske filosoffer gav denne tidlige videnskab et afgørende nyt perspektiv ved for første gang at stille spørgsmålet, hvorfor verden er, som den er. Ikke blot stillede man nye spørgsmål, der gik langt ud over enhver praktisk interesse – man besvarede spørgsmålene på en ny måde og engagerede sig aktivt i en *kritisk dialog* med andre naturfilosoffer.

I stedet for at henvise til guderne eller de traditionelle myter søgte man en naturalistisk forklaring baseret på årsager inspireret af naturfænomener. Man indførte *hypotesen* i de naturfilosofiske argumenter, idet man søgte efter de grundlæggende objekter og strukturer, der formodedes at ligge bag de erfarede fænomener. Et godt eksempel er Demokrits atomlære (fra ca. 430 f.v.t.). Ud fra hypotesen om atomer, der bevæger sig i det tomme rum, søgte Demokrit at forklare verdens brogede mangfoldighed på et materialistisk grundlag. I Demokrits program finder man

ideen om at forstå naturfænomenerne som manifestationer af nogle fundamentale størrelser – en ide der skulle blive et vedvarende tema i senere videnskab, og som lever i bedste velgående den dag i dag.

Matematik og naturfilosofi

Omkring år 400 f.v.t. optræder den vigtige indførelse af matematiske argumenter i naturfilosofien, først med pythagoræerne og Platon og noget senere med de mere udarbejdede geometriske modeller for verdensrummet. De græske tænkere var fascinerede af matematikkens deduktive struktur og var de første til at opfatte videnskaben som et system af viden, der logisk kunne udledes af nogle få grundlæggende principper. En sådan tankegang var karakteristisk for Aristoteles – oldtidens vigtigste naturfilosof og formentlig den mest indflydelsesrige videnskabsmand nogensinde.

På Arkimedes tid (ca. 250 f.v.t.) kan man tale om en egentlig, om end noget rudimentær, naturvidenskab, der omfattede både naturfilosofi, matematik og systematiske observationer.

Bemærkelsesværdigt nok fin-

Naturvidenskabens spilleregler

Der findes ingen enkelt "naturvidenskabelig metode", men derimod visse metoder og spilleregler der karakteriserer den videnskabelige erkendelsesproces og afgrænser den i forhold til ikke-videnskab. Først og fremmest er naturvidenskab *empirisk*, dvs. erfaringsvidenskabelig, således at den vedrører naturfænomener med visse objektive egenskaber. Som en minimumsbetingelse må videnskabelige vidensspå-stande kunne testes i forhold til deres empiriske domæne, og specielt må de være *fejlbare*, dvs. kunne være forkerte.

En teori eller påstand, der ikke på nogen måde kan konfronteres med empiriske data, er ikke naturvidenskabelig (men kan f.eks. være af ren matematisk art). Selv om empiriske data – stammende fra eksperimenter eller observationer – er af afgørende betydning, er de ikke i sig selv nok til at generere en videnskabelig teori. Ikke blot kan man ud fra data konstruere mange og forskellige teorier, der alle stemmer med data, man vil også normalt kræve, at en teori har overskudskraft i form af forudsigelser og opfylder en række kriterier af ikke-empirisk art (som simpelhed og logisk konsistens). Er teorien først formuleret, kan den udvikles eller måske afvises ved sammenligning med eksperimentelle resultater. Denne vurdering af, hvorvidt en teori er acceptabel (snarere end "sand"), er måske kernen i den naturvidenskabelige erkendelsesproces. Men der er tale om en kompleks proces, der ikke kan sættes på en enkelt formel. Naturforskere har stor respekt for empiriske data, der på mange måder er videnskabens hjerteblod, men de ved også, at respekten ikke bør være ubegrænset.

Dialektikken mellem empiri og teori kan ikke reduceres til det enkle budskab om at "teorier kommer og går, data består." Som videnskabshistorien viser, kan "data" meget vel ændres, bl.a. fordi der indgår et fortolkningselement i måle- og observationsprocesser. Hertil kommer, at hvis en teori ikke stemmer med data, behøver det ikke skyldes, at teorien er forkert. Det kunne jo være, at rapporterede data var forkerte eller upålidelige.

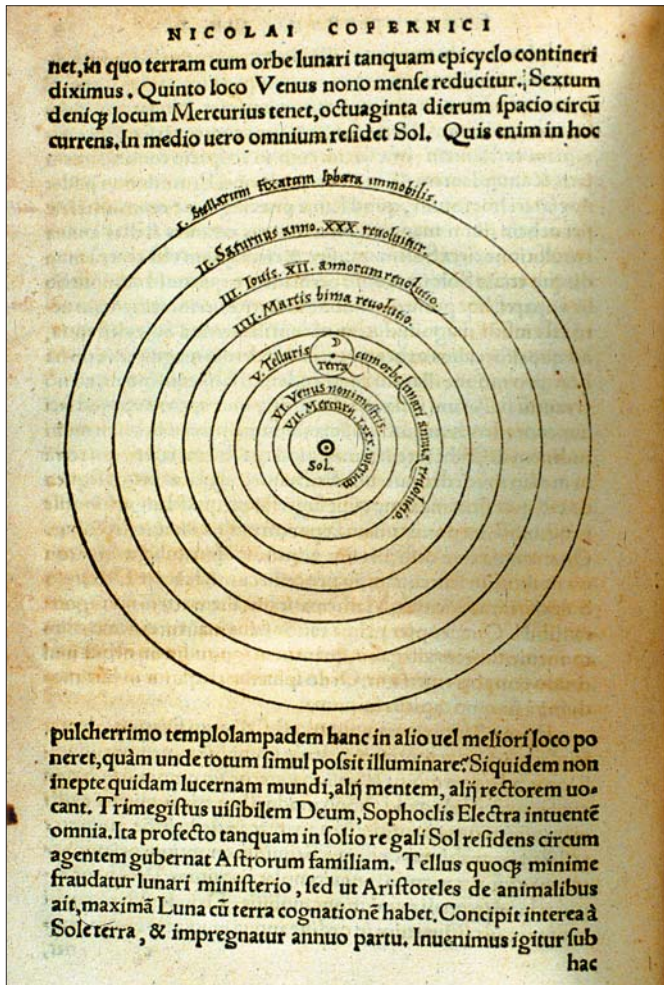


Image courtesy History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

Kopernikus foreslog at Jorden blot er en planet, der kredser omkring den hvilende Sol. Her ses bogsiden med tegningen fra 1543.

der vi ikke tilsvarende tilgange til en rationel naturforståelse i andre samtidige kulturer som den indiske eller kinesiske. Ganske vist var der i disse kulturer en udviklet lægekunst, astronomi, metallurgi og naturfilosofi, men der var ingen syntese af matematiske og naturvidenskabelige argumenter, sådan som vi finder det i den græske kulturkreds.

De græske filosoffer nåede naturligt nok ikke deres ambitiøse mål om at forklare naturen på et naturalistisk grundlag, men med deres afmytologisering af naturen skabte de det grundlag, al senere naturvidenskab hviler på.

Den moderne naturvidenskab fødes

Den græske videnskab var svagt forankret, og forsvandt simpelthen fra Europa i den tid-

lige middelalder, og overlevede kun i kraft af de mere vitale islamiske riger. Men det blev alligevel i det relativt uciviliserede Europa, at videnskaben oplevede sin anden fødsel. Et af de vigtigste symboler på den udvikling, der fandt sted, var Kopernikus' berømte verdensbillede fra 1543.

Da Kopernikus i 1543 i hovedværket *De revolutionibus* foreslog, at Jorden blot er en planet, der kredser omkring den hvilende Sol, lagde han – uden at vide det eller ville det – grundstenen til den såkaldte *Naturvidenskabelige Revolution*, som er perioden fra ca. 1550 til 1680, hvor den moderne form for naturvidenskab blev udviklet.

På mange måder var det kopernikanske alternativ traditionelt, idet det bibeholdt væsentlige træk fra den klas-



Image courtesy History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

Nikolaus Kopernikus (1473-1543)

Om forfatteren:



Helge Kragh er professor ved Steno Institutet, Aarhus Universitet
E-mail: helge.kragh@si.au.dk
Tlf.: 89423505

Videre læsning:

Giorgio de Santillana: *The Origins of Scientific Thought*. New American Library, 1961

Derek Gjertsen: *Science and Philosophy*. Penguin, 1992.

Helge Kragh: *Videnskabens væsen*. Fremad 1999.

siske geocentriske astronomi, især påstanden om at himmellegemerne bevæger sig jævnt i cirkulære baner. Men Kopernikus hævdede altså, at Solen var i universets centrum, mens Jorden med stor fart kredsedede om denne og samtidig roterede omkring sin egen akse. Hans system var i denne henseende udpræget kontra-intuitivt, for vore sanser fortæller os jo, at vi befinder os på en fast og ubevægelig Jord. Netop villigheden til at beskrive den fysiske verden på en måde, der strider mod traditionen og de umiddelbare sanseoplevelser, var et karakteristisk træk ved den nye naturvidenskab. Men naturligvis må beskrivelsen være i overensstemmelse med observationer, hvilket da også i det store og hele var tilfældet med Kopernikus' model. Når Kopernikus foreslog modellen,

var det dog ikke for at forklare nye observationer, men fordi han af teoretiske og filosofiske grunde var utilfreds med grundlaget for den eksisterende teori.

Et andet "moderne" træk ved *De revolutionibus* var bogens gennemført teknisk-matematiske karakter. I modsætning til mange af sine samtidige havde Kopernikus ingen interesse i astrologi, og de få henvisninger til Guds skaberværk var kun medtaget af dekorative grunde – værket var trods alt tilegnet paven. Det er også karakteristisk, at modellen indeholdt forudsigelser, der kunne teste den, f.eks. at Venus skulle vise faser, og at der måtte være en såkaldt stjerneparallaxe. Disse forudsigelser blev først bekræftet langt senere, men dette er af mindre betydning mht. teoriens videnskabelige status. ■

Newton's love har givet os en fundamental forståelse af fænomenet "bevægelse", og hvorfor man f.eks. kan sende en rumfærge i kredsløb om Jorden.



Newton's love

Foto: NASA

Det er fysikkens allerstørste erkendelse, at f.eks. månens bevægelse, et penduls svingninger eller en bolds hoppen ikke bare må tages til efterretning, men følger en fysisk lov. Isaac Newtons formulering af denne lov i 1687 har haft kolossal indflydelse på eftertidens fysik.

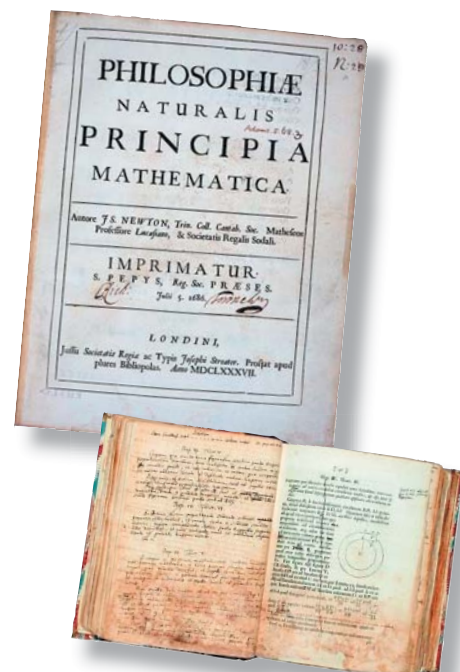
Af Klaus Mølmer

■ Efter behag kan man enten fascineres eller småkede sig ved at iagttage regelmæssigheden i et pendul, der svinger fra side til side, eller en bold, der hopper op og ned på et hårdt underlag. I årtusinder har mennesket set månen kredse om jorden – og jorden og de andre planeter kredse om solen – præcist som efter et urværk. Så præcist, at astronomer i almanakker f.eks. kan forudse sol- og månefor-

mørkelser langt ud i fremtiden.

Det er fysikkens allerstørste erkendelse, at disse og mange andre eksempler på fysisk bevægelse ikke bare må tages til efterretning, men at de følger en fysisk lov – under de givne omstændigheder kan de ikke andet. Den engelske naturvidenskabsmand Isaac Newton (1642-1727) opstillede i sit hovedværk *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (ofte

blot betegnet *Principia*) i 1687 mekanikkens bevægelseslove, sammenfattet i det følgende i den matematiske formel, $F=m \cdot a$, der bærer navnet "Newton's 2. lov": *Kraften på et legeme er lig med dets masse ganget med dets acceleration*. Den udgør det teoretiske grundlag for hele den klassiske mekanik og beskriver en lang række dagligdags såvel som meget tekniske og avancerede fysiske fænomener.





Newton's gravmonument i Westminster Abbey, England



Sir Isaac Newton [1642-1727].
Portræt fra 1689 af Sir Godfrey Kneller.

Newtons 2. lov er pensum på mange uddannelsesniveauer, og derfor en matematisk formel, som er kendt af mange. Det er vigtigt at slå fast, at formelen ikke betyder, at kraft er det samme som masse ganget med acceleration, men at to vidt forskellige fysiske begreber kan kvantificeres, og at de fremkomne størrelser opfylder den anførte ligning. Vi vil nu se på

ligningens elementer hver for sig, og derefter diskutere, hvad lighedstegnet betyder.

Kraft (F)

En strakt eller sammentrykket fjeder kan udøve en kraft og trække i eller skubbe til et legeme. Magneter tiltrækker jern. Vi er alle påvirkede af tyngdekraften og kan kun med besvær løfte tunge genstande.

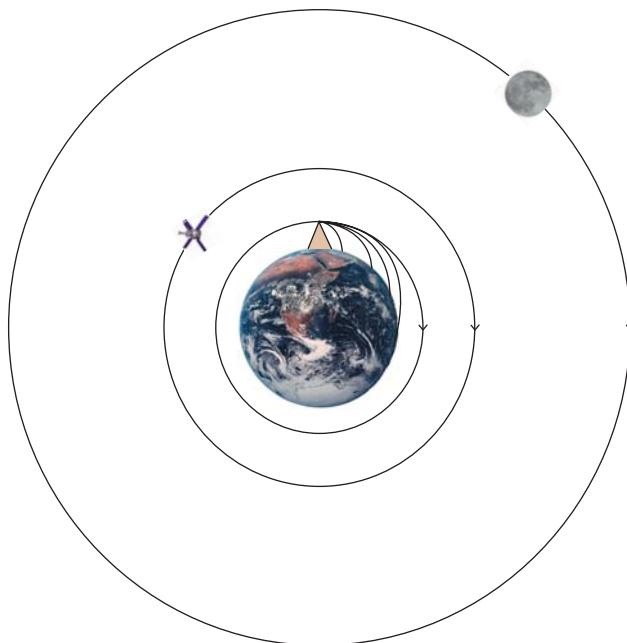
Faldskærmsudspringerens fald bremses af vindmodstanden, etc. Uanset deres forskellige oprindelse kan de forskellige kræfter behandles som et og samme fysiske fænomen og tillægges talværdier efter deres retning og styrke. Vi kan sammenligne kræfter, og specielt kan vi ved addition bestemme den samlede effekt af flere forskellige kræfter, der virker samtidigt. Man

kan kvantitativt sætte tal på en ukendt krafts styrke ved at se, om den kan holde et passende tungt legeme løftet eller ved at modarbejde den med en fjeder og registrere fjederens udstrækning. Blandt kræfter tæller også vores muskelkræfter, som kan måles ved den vægt, vi er i stand til at løfte, eller ved hvor meget vi kan sammentrykke fjedrene i forskellige fitnessinstrumenter.

Tyngdekraften og det frie fald

På denne "moderniserede" udgave af en af Isaac Newtons illustrationer vises banerne for objekter, der kastes ud fra et højt bjerg. Ved lav hastighed ses det velkendte frie fald mod jorden, men ved høj hastighed kan faldet kun i mindre grad følge med jordens krumning og ved en vandret hastighed på ca. 28.000 km/t fås "et konstant frit fald" i en cirkelbane få hundrede km over jordens overflade. Med den kredsløbshastighed tager rumfærgen ca. halvanden time om at nå rundt om jorden. I større afstand fra jorden bliver hastighederne mindre, således at månen i sit kredsløb 384.400 km fra jorden tager ca. en måned om sit omløb.

I 1798 "vejede" den engelske fysiker, Sir Henry Cavendish (1731-1810) jorden ved i laboratoriet at måle den meget svage tyngdekraft mellem kugler med kendte masser. Cavendish benyttede måleresultatet og den kendte tyngdekraft fra jorden til at bestemme jordens masse og efterfølgende dens massefylde.



Ud fra solens evne til i 150 millioner kilometers afstand at holde jorden i en bane med en omløbstid på et år og ud fra den observerede bevægelse af Mæl-

kevejens stjerner giver Cavendish's måling og den klassiske mekaniks bevægelseslove også massen af solen, Mælkevejen og andre astronomiske objekter!

Masse (m)

Efter en lang udvikling med forskellige historiske vægtmål angives masse, eller vægt, videnskabeligt – og i dagligdagen i de fleste europæiske lande – i enheden kilogram (eller blot kilo). Tyngdekraften på jorden gør, at masse simpelt kan vejes med en bade- eller køkkenvægt. Kan astronauter i vægtløs tilstand mærke forskel på tunge og lette genstande, som jo alle vil svæve frit omkring i rumskibet, eller giver masse kun mening, hvis man er påvirket af tyngdekraften fra jorden eller en anden planet? Svaret står i Newton's 2. lov, idet massen angiver forholdet mellem alle slags kræfter og den resulterende acceleration. Astronauten vil derfor kunne mærke forskel, hvis han skubber til legemerne.

Acceleration (a)

En Porsche 911 Turbo accelererer fra 0 til 100 km/t på 3,7 sekunder. Accelerationen er et mål for, hvor hurtigt, hastighed



Den italienske maler Pelagius indtryk af Newtons opdagelse af lysets brydning – illustreret ved et barns leg med en sæbeboble. Optikken var et andet område af fysikken, som Newton gav afgørende bidrag til.

ændres. På samme måde som man kan bevæge sig med varierende hastighed, kan man også have en varierende acceleration. En præcis definition af accelerationen på et givet tidspunkt fås ved at undersøge, hvordan hastigheden ændrer sig i løbet af et ganske kort tidsrum og dividere med dette tidsrum. Newton indså betydningen af en præcis definition, hvor man lader det omtalte tidsrum blive uendeligt kort. Hermed gav han anledning til en ny matematisk operation, differentiationen, som i dag danner grundlag for differentialregningen, en af matematikkens store discipliner med vidt forgrenede anvendelser.

Sammenhængen ($F = ma$)

$F=ma$ udtrykker en sammenhæng mellem vidt forskellige fysiske størrelser, og kan med udbytte læses "i begge retninger": Hvis man kender kræfterne på et legeme (venstre side af ligningen), kan man herudfra beregne accelerationen ved at dividere med massen. Herefter kan man bestemme den tidlige variation i legemets hastighed

og efterfølgende legemets bevægelse i rummet. I den klassiske mekanik kan man altså ud fra kendte startværdier for et legemes sted og hastighed og ud fra kendskab til de forekommende kræfter forudsige systemets fremtidige opførsel.

Hvis man, med stopur og målebånd eller mere avanceret måleudstyr, kan bestemme et legemes bevægelse og derudfra beregne dets acceleration (højre side af ligningen), kan man ved at benytte Newton's 2. lov bestemme størrelsen af den kraft, der påvirker legemet.

Gælden til Newton

Danskeren Tycho Brahes (1546-1601) planetobservationer blev af den tyske astronom og matematiker Johannes Kepler (1571-1630) brugt til at konkludere, at planeter bevæger sig i ellipsebåner om solen. Newton viste, at det netop er løsningen til hans ligning, hvis man indfører en tyngdekraft hvis styrke er omvendt proportional med kvadratet på afstanden mellem planeterne og solen. Newton's indsigt, at det er den samme kraft, som får et æble til at falde

mod jorden, og som holder jorden i sin bane om solen, er en kortslutning i vores beskrivelse af naturens opførsel på ekstremt forskellige skalaer. Den franske fysiker Charles Augustin Coulomb (1736-1806) viste, at en tilsvarende kraft virker mellem elektrisk ladede partikler, og Niels Bohr redegjorde senere for atomernes opbygning ved en tilpasning af Newton's mekanik for disse kræfter. Den klassiske mekanik kommer til kort ved bevægelse nær lysets hastighed og i ekstremt stærke tyngdefelter og den er ikke fyldestgørende ved bevægelse af objekter af mikroskopisk, atomar størrelse. I sådanne ekstreme situationer må vi ty til det 20. århundredes store bidrag til fysikken, relativitetsteorien og til kvantemekanikken. Nødvendige, fascinerende, overraskende og matematisk mere komplicerede teorier, men i fuldkommen afhængighedsgæld til Newton's klassiske mekanik hvad angår fysiske begreber og matematiske metoder og specielt selve ideen om en udtømmende matematisk modellering af den fysiske verden. ■

Om forfatteren



Klaus Mølmer er professor ved Institut for Fysik og Astronomi Aarhus Universitet
Tlf.: 8942 3679
E-mail: moelmer@phys.au.dk

F = ma

Videre læsning:

Den gode og lettilgængelige: "Isaac Newton and the Scientific Revolution" af Gale E. Christianson.
Den omfattende og roste: "Never at Rest" af Richard S. Westfall.



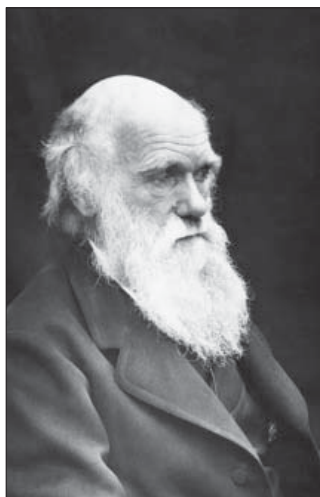
Evolutionsslæren

At alt liv er beslægtet, og at der findes en mekanisme, der kan forklare udviklingen af kompleksitet uden behov for en "intelligent designer" er den vigtigste erkendelse i biologiens historie.

Af Tom Fenchel

■ Evolutionsslæren (eller evolutionsteorien) er erkendelsen af, at det mangfoldige liv, vi ser i verden i dag, er et resultat af en umådelig lang udviklingshistorie, og at den drivende mekanisme for denne udvikling er den naturlige udvælgelse.

Evolutionsteorien har altså to sider: en historisk og en mekanistisk. Den historiske side af evolutionsmekanismen omfatter den erkendelse, at alle levende organismer er beslægtede, og at arterne har ændret sig over geologisk tid. Denne indsigt var i vid udstrækning opnået inden Charles Dar-



Charles Darwin (1809-1882)

win (1809-1882) publicerede sit berømte værk *Om arternes oprindelse* i 1859.

Man havde fået et grundigt kendskab til tidligere geologiske perioders dyre- og planteliv, og selv om man dengang ikke havde mulighed for en absolut aldersbestemmelse, var man klar over, at geologisk tid var meget længere end den bibelske tradition. Det stod også datidens biologer klart, at organismer havde ændret sig gennem tiden, og at den zoologiske og botaniske systematik var mere end blot et klassifikations-system.

Evolutionens mekanisme

Den anden side af evolutionsteorien omhandler den mekanisme – dvs. naturligt udvalg – der driver evolutionen. Darwin gav mange vægtige bidrag inden for biologi og geologi, og der i blandt vægtig dokumentation for evolutionens realitet. Men den største enkeltindsats var, at han foreslog en evolutionsmekanisme, som forklarer arternes ændring over tid – en mekanisme, der også forklarer udviklingen af kompleksitet uden behov for en "intelligent designer". Denne erkendelse er den vigtigste i biologiens histo-

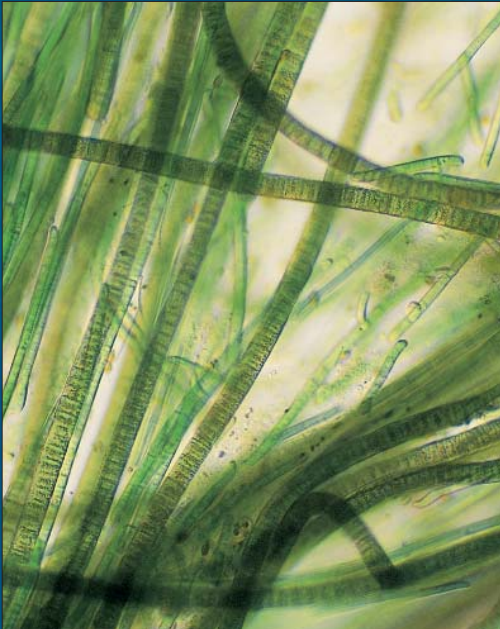
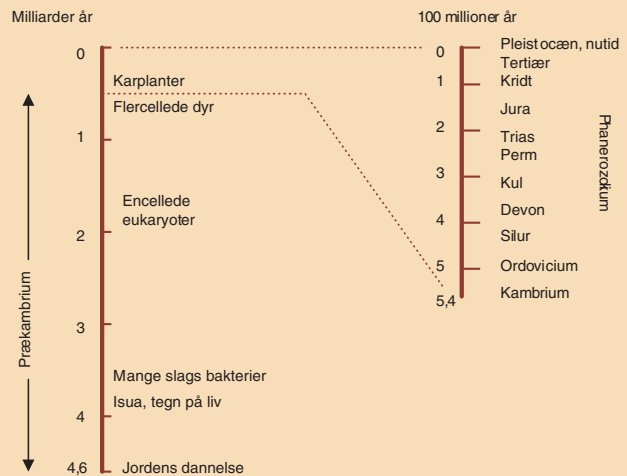


Foto: Tom Fenehel

Livets tidstavle



Oversigt over geologisk tid med de mest betydningsfulde udviklingstrin i livets historie. Flercellede dyr (og dermed det meste af den evolution, som man almindeligvis har i tankerne) er sket inden for den phanerozoiske periode (de seneste ca. 540 millioner år). Over ufatteligt lange tidsperioder fandtes kun mikroorganismer og evolutionen var præget af "stasis", dvs. at naturligt udvalg virker stabiliserende på nogle optimale typer af organismer.

Livets opståen

– det største spørgsmål af alle

Ingen kan i dag sige, hvordan livet opstod. Man ved, at livet opstod tidligt i Jordens historie – en rimeligt antagelse er at det skete omkring 4 milliarder år siden. Det menes at tidligere var Jorden for ugæstfri overfor liv. På den anden side har man direkte vidnesbyrd om, at liv fandtes for ca. 3,8 milliarder år siden (Solsystemets alder er ca. 4,6 milliarder år.)

Man kan imidlertid alligevel godt sige noget fornuftigt om livets opståen, og beskæftigelse med problemet giver indsigt i, hvad liv er. Problemet er, at der er to karakteristiske hovedtræk ved liv: energistofskifte og et genetisk system. Diskussionen har i høj grad delt sig mellem dem, der mener "stofskifte først" og dem, der mener "genetik først". Men i virkeligheden er et genetisk system, som f.eks. RNA-molekyler, der deler sig, afhængig af energitilførsel (og byggesten). Og omvendt er kemiske processer, der måske nok ligner dem, der foregår i levende celler, ikke liv: de kan ikke udvikle sig videre gennem Darwinistisk selektion.

De første seriøse forsøg på at forstå livets oprindelse er Oparin-Haldane-hypotesen om spontan dannelse af organiske molekyler i en iltfri atmosfære – og senere Miller-Urey's påvisning af, at dette faktisk kan finde sted (populariseret som "ursuppen"). Dette er ikke en forklaring på livets oprindelse, men måske af det kemiske miljø, hvori liv kunne være opstået. Siden 1950'erne har man gjort en del fremskridt ad denne vej.

Genetik-først skolen har specielt interesseret sig for "RNA-verdenen". Det har vist sig, at RNA-molekyler dannes spontant i en suppe af nukleotider og med passende katalyse. Sådanne "kulturer" af relativt korte RNA-molekyler kan replicere, mutere og undergå Darwinistisk evolution. Der er dog stadig betydelige vanskeligheder med denne model – og der er umådeligt langt fra disse eksperimentelle systemer og til den kompleksitet, som de simpleste former for liv vi kender (dvs. en bakteriecelle) udviser.

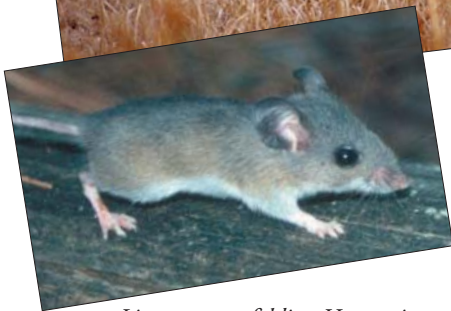
rie, og dens grundlæggende træk står uantastet i dag efter næsten halvandet århundrede.

Darwins argument var, at der altid findes et overskud af nyfødte individer og dermed en konkurrence om ressourcerne imellem. I denne evige kamp for eksistensen er det individer med de mest fordelagtige egenskaber i den givne situation, der vil klare sig bedst og efterlade mest levedygtigt afkom. Derved vil disse individer i længden udkonkurrere individer med mindre fordelagtige egenskaber og blive hyppigere. Herved kan karaktertræk

og adfærd gradvist ændre sig i bestandene og i arten som helhed.

Hvilke egenskaber, som er gunstige, er imidlertid ikke entydigt, men vil afhænge af de konkrete miljøforhold og de aktuelle biologiske konkurrenter, fødeemner og fjender. Bestande af samme art, der er isolerede fra hinanden af fysiske eller biologiske barrierer, kan derfor over tid udvikle sig i forskellige retninger. På et tidspunkt kan bestandene have adskilt sig så meget fra hinanden, at de ikke mere kan forplante sig gensidigt, og de er dermed blevet

Foto: Carsten Broder Hansen



Livet er mangfoldigt. Her er vist nogle få eksempler. Mus, elefant, gobel, en uddød trilobit og nogle bakterier.

til forskellige arter. En art kan som sådan langsomt ændre sig over årmillionerne eller i andre tilfælde holde sig forbavsende konstant.

En samlende ramme

Darwin kunne ikke forklare, hvorfor der opstår variationer i bestandene, som den naturlige udvælgelse kan virke på. Han og samtiden kendte ikke det

arvelige grundlag for organismernes egenskaber. Først med genopdagelsen af Gregor Mendels arvelighedslove i år 1900 og genetikens udvikling herefter, var vejen banet for en syntese af evolutionsteorien og genetikken – også kendt som *neodarwinismen*.

Fra midt i 1900-tallet har interessen især samlet sig om at integrere molekylærbiologien i evolutionsbiologien. Biologiens enorme dyk ned i den grundlæggende biokemi, i DNA's opbygning og i principperne for reguleringen af genernes aktivitet og oversættelse til konkrete molekyler, karaktertræk og sygdomme har kun styrket evolutionsteorien yderligere.

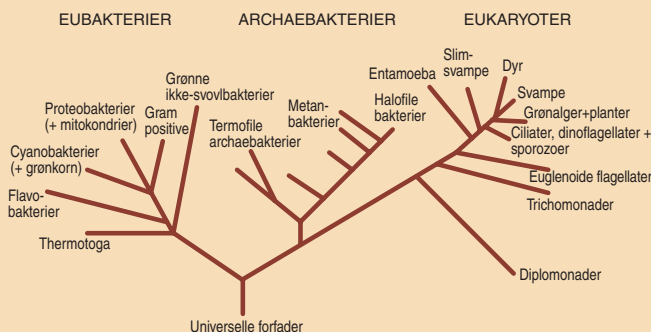
Evolutionsteorien fremstår dermed i dag som den samlende ramme for vores forståelse af alle biologiske fænomener. Den har også givet mennesket en forståelse af dets plads i naturen, idet den gør os til en naturlig, integreret del af dyrelivet og ikke til en enestående art, skabt i Guds billede. Endelig spiller evolutionsteorien også en rolle i vores dagligliv, da man for eksempel må tage hensyn til evolutionens realitet i kampen mod sygdomsfremkaldende bakterier, der udvikler resistens overfor antibiotika. ■

Om forfatteren



Tom Fenchel er professor ved Marinbiologisk Laboratorium Københavns Universitet Strandpromenaden 5 3000 Helsingør
Tlf.: 4921 3344
E-post: tfenchel@bi.ku.dk

Livets stamtræ



Siden Darwins tid er der gjort mange forsøg på at konstruere et universelt stamtræ over livet på Jorden. Sådanne stamtræer vil tage sig forskelligt ud, afhængigt af, hvad slægtskabsanalysen er baseret på. Her ses et eksempel på et sådant stamtræ, som er baseret på forskellige organismerne imellem i et bestemt stykke RNA (kaldet 16S-rRNA). Ifølge dette stamtræ består livet af tre domæner: eubakterier og archaeobakterier (tilsammen prokaryoter eller blot bakterier) og eukaryoter. Til eukaryoterne hører en lang række encellede udviklingslinier samt planter, dyr og svampe.

Mere læsning

Tom Fenchel: *Det første liv*. Gads Forlag 2000.

Stamtræets udvikling, Aktuel Naturvidenskab nr. 4/2002.

E. Mayr: *What evolution is*. Basic Books, New York, 2001.

Termodynamikken

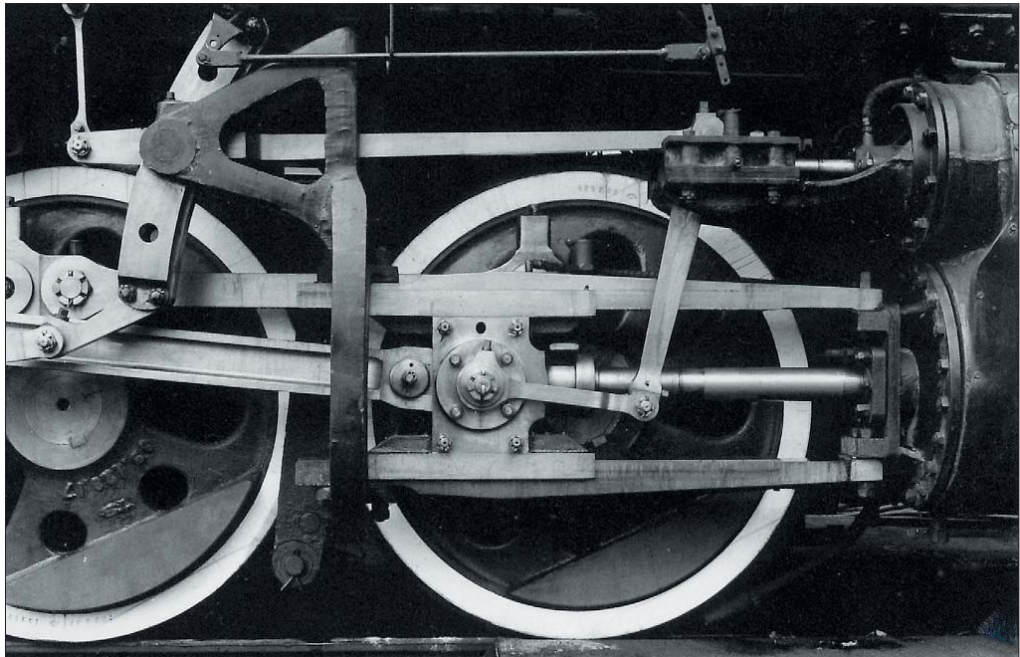
Termodynamikken – eller varmelæren – udgør grundlaget for de tekniske videnskaber, og dermed for en række tekniske udviklinger af stor historisk betydning. Samtidig skaber termodynamikken en vigtig forbindelse mellem fysikken og naturhistorien.

Af Jens Morten Hansen

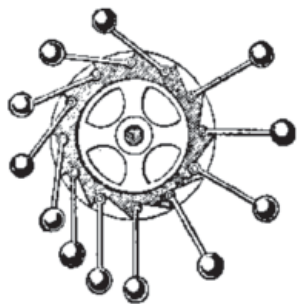
■ Under den industrielle revolution i 1800-tallet blev man i ingeniørvidenskaberne klar over, at maskiner i realiteten ikke forbruger energi, men omdanner energi fra en tilstand til en anden tilstand. Når f.eks. en dampmaskine virker på basis af brændende kul omdannes den tilgængelig energi (kullets kemiske energi) til henholdsvis *arbejde* (det ønskede resultat) og *utilgængelig energi* (i form af spildvarme). Man opdagede også, at der altid vil være en vis "produktion" af utilgængelig energi, uanset hvor snedigt en maskine er indrettet.

Dette forhold mellem produktion af tilgængelig og utilgængelig energi kaldte kaldte den tyske fysiker og matematiker Rudolf Clausius (1822-1888) for *entropi* – et græsk ord, der beskriver energiens "indadvending" eller "utilgængelighed" ved at blive anvendt. Energien forsvinder altså ikke ved at blive omsat, men får en anden tilstand – bliver til varme i maskinens forskellige dele, hvorfra den bortledes til omgivelserne. Man indså også, at energiomsætningen i både maskiner og alle naturens systemer til syvende og sidst vil føre til, at al energi ender som varme. Universet i sin helhed går derfor uafvendeligt mod "varmedøden".

Dette er grundlaget for den



Maskiner forbruger ikke energi, men omdanner energi fra en tilstand til en anden. Denne og andre erkendelser inden for det område, der kaldes termodynamikken, udgør det videnskabelige grundlag for teknikken.



De utallige forsøg på at konstruere en evighedsmaskine, er en umulighed ifølge termodynamikkens 2. hovedsætning.

såkaldte 2. hovedsætning, der siger, at i et lukket system vil entropien altid vokse. Af samme grund er evighedsmaskiner en umulighed. Der vil altid være et varmetab, og enhver maskine skal derfor have tilført tilgængelig energi for at kunne virke.

Teknikken bliver grundvidenskab

I 1800-tallets sidste del, skete der store fremskridt med at forstå "energisætningerne", der indtil da kun havde været kvali-

tativt formulerede. Den østrigske fysiker Ludwig Boltzmanns (1844-1906) erkendelse i 1877 af det statistisk-matematiske grundlag for entropibegrebet forklarede også kvantitativt den franske matematiker og ingeniør Sadi Carnots (1796-1832) simple lære om tilgængelig og utilgængelig energi fra 1820'erne. Med Boltzmanns formel for, hvordan entropien altid vokser i et lukket system fik de tekniske videnskaber en helt ny forståelse af kemiske



Når man betragter skyer over havet er det en illustration af, at vandet fordamper i et termodynamisk kaos, men også at dampen stiger til vejrs, fortætter og danner en ny orden (skyen), der endog kan regne på havet igen.

Boltzmanns formel

Boltzmanns formel, $S = k \log W$, siger at entropien i et lukket system (S) er proportional med logaritmen til antallet af mulige "komplexioner" (W), dvs. antallet af måder, hvorpå f.eks. molekylerne i en gas eller i en væske kan være fordelt på, hvis man forestiller sig det lukkede system er inddelt i en række tænkte celler, som molekylerne kan bevæge sig frit ind og ud ad. Det bemærkelsesværdige er, at jo større antallet af molekyler er, desto større er sandsynligheden for, at molekylerne vil fordele sig jævnt med tiden.

Boltzmann formel viste på rent matematisk/statistisk grundlag, at 2. hovedsætning er rigtig, dvs. at ethvert lukket system, der ikke tilføres tilgængelig energi udefra, vil "stræbe" mod kontrastløshed, strukturløshed eller jævnhed (dvs. entropi eller kaos) som en uafvendelig virkning af tidens gang og de enkelte molekylers bevægelser.

Termodynamikkens 1. hovedsætning:

Mængden af energi i et lukket system er konstant.

Termodynamikkens 2. hovedsætning:

Energis utilgængelighed i et lukket system kan kun vokse.

processer og maskiner – og ikke mindst fik 2. hovedsætning et videnskabeligt grundlag. Det skete sideløbende med, at den amerikanske matematiker og fysiker Willard Gibbs (1839-1903) skabte et videnskabeligt grundlag for den første hovedsætning, der siger, at energien i et lukket system er konstant.

Hermed fik de tekniske videnskaber sit første egentlige grundlag. Teknikken kunne nu også opfattes som en grundvidenskabelig disciplin og ikke "kun" som en nyttiggørelse af naturvidenskaben.

Teknisk set

Termodynamikken er særlig vigtig, fordi den giver svar på hvilken tilstand, det materiale og den energi, der tilføres et teknisk system, skal have for at kunne give et bestemt resultat.

For at kunne regulere f.eks. et procesanlæg er det afgørende at kunne beregne om anlægget vil have en nettoproduktion af varme i forhold til tilstanden af energiindholdet i de materialer og energiformer, der strømmer gennem det.

Den tekniske omsætning af materialer og energi i motorer, maskiner, procesanlæg, gærings-tanke, smelteovne osv. går helt grundlæggende ud på skabe enten højere eller lavere orden i det råstof eller andet materiale, der kommer gennem anlægget. Hvis det produkt, der skal komme ud af det, skal være mere ordnet, end det materiale, der puttes ind i anlægget, skal anlægget samtidig tilføres ordnet dvs. tilgængelig energi. Den spildenergi, der kommer ud af anlægget, vil til gengæld blive mindre ordnet (dvs. mere kao-

tisk eller utilgængelig).

Man kan sige, at maskiner, procesanlæg osv. dybest set har til opgave at "flytte" orden eller kaos til det ønskede produkt fra de anvendte råmaterialer eller energikilder. Skal produktet f.eks. have en højere grad af orden eller differentiering end råstoffet, vil maskinen eller procesanlægget samtidig producere varme (kaos), og maskinen skal derfor have tilført "ordnet" energi (f.eks. kemisk energi). Det sker f.eks. i et fryseanlæg, hvor vand (dvs. kaotisk ordnede vandmolekyler) skal omdannes til is (velordnede iskrystaller). Det kan kun lade sig gøre ved at "flytte" den orden, der er i energikilden, over til vandet/iskrystallerne – men med den uundgæelige "bivirkning" at fryseren samtidig producerer varme i omgivelserne.

Det modsatte vil være tilfældet i f.eks. en varmepumpe, der skal "flytte" varme fra omgivelserne til et hus. Det svarer til en "omvendt fryser", hvor den producerede varme (kaos) spærres inde i huset i stedet for – som i fryseren – at det er den producerede kulde (orden), der bliver spærret inde.

Biologisk set

Forskellen på planter og dyr kan – termodynamisk set – beskrives på de samme to måder. Planter bliver så at sige aldrig færdig med at vokse. De opbygger derfor til stadighed orden (blade, grene, celler, kemiske forbindel-

ser osv.). Det gør de ved at indfange velordnet energi i form af bestemte bølglængder af solens lys og "flytte" denne orden til komplekse forbindelser af det kulstof, vand og næringssalt, som planterne optager fra luften og grundvandet. Herved er der naturligvis også et vist varmetab, men nettoresultatet er, at planter opbygger mere orden og tilgængelig energi i planten selv, end de producerer varme i omgivelserne. Et dyr derimod skal indtage mere ordnet materiale og tilgængelig energi (f.eks. planter) end de producerer (f.eks. i form af vækst og "arbejde"). De har derfor en nettoproduktion af varme (kaos), som de eksporterer til omgivelserne.

Man kan sige, at dyrene lever på planternes "nåde", inden universet går "varmedødt"! Dyrene derimod skaber mere kaos end orden, og de kan derfor ikke eksistere uden planterne.

Filosofisk set

Termodynamikken har stor betydning for vores forståelse af begrebet tid. Termodynamikkens 2. hovedsætning er dybest set det eneste område i fysikken, der forklarer, hvorfor tiden kun kan gå én vej. I alle andre fysiske formler, hvori tiden indgår, er tiden blot en måleparameter, der ikke tager stilling til, hvilken vej tiden går. I fysikken er tiden normalt blot en varighed, der måles lige godt fra et begyndelsestidspunkt som fra et

sluttidspunkt, mens tiden i termodynamikken er en betydning i slægt med begreberne alder, udvikling og umuligheden af at gøre det skete usket.

Dette illustreres ofte med en krukke, der tabes på gulvet og smadres, så skårene flyver til alle sider. Det modsatte kan ikke lade sig gøre. En bunke skår kan ikke tabes på gulvet, og så blive til en hel krukke. Tværtimod vil skårene blive yderligere smadret. *Entropien* – og dermed tiden – kan kun vokse. Eller sagt på en anden måde: Udviklingen kan ikke spoles tilbage, fordi udviklingen og tiden har retning.

Den konkrete formulering af fysikkens øvrige love, hvori tiden blot indgår som en varighed og ikke som en betydning, ville svare til, at forløbet optages på film, og at det er ligegyldigt, om filmen vises forlæns eller baglæns. Men sådan fungerer naturen "naturligvis" ikke. Der er forskel mellem på den ene side film og formler og på den anden side udvikling og virkelighed.

Store naturlige systemer som f.eks. evolutionsbiologien og pladetektonikken, der ikke kan betragtes som lukkede systemer, forudsætter begrebet udvikling og derfor, at tiden har retning. Naturens udvikling kan ikke ruller tilbage og give det samme resultat, som var en gang. Naturens udvikling kan ikke forstås gennem fysikkens love, uden at termodynamikken skaber forbindelse. ■

Om forfatteren



Jens Morten Hansen er lic. scient., statsgeolog og adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet. Telefon: 3814 2793 E-mail: jmh@geus.dk

Videre læsning:

Rifkin, Jeremy (og Ted Howard): *Entropi - et nyt verdensbillede*. Borgens Forlag 1983. 334 sider.

Hansen, Jens Morten: *Stregen i sandt, bølgen på vandet*. Forlaget Fremad 2000. 440 sider.

www.entropylaw.com

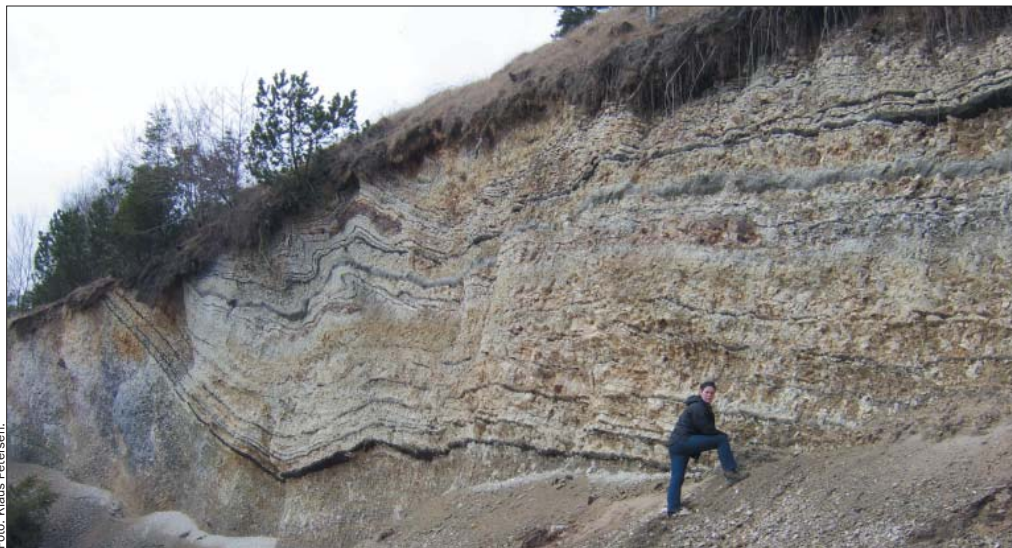
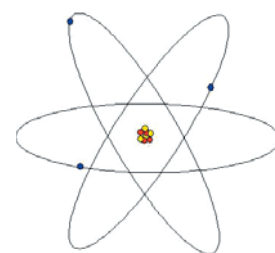


Foto: Klaus Petersen.

Et geologisk profil med moler og mørke askelag fra Fur. Naturens udvikling – som den f.eks. kan aflæses i kronologien i de geologiske lag – kan ikke forstås gennem fysikkens love uden at termodynamikken skaber forbindelsen. Den 2. hovedsætning er nemlig det eneste område i fysikken, der forklarer, hvorfor tiden kun kan gå i én retning.

Verden består af atomer

Erkendelsen af, at vi selv, og den verden, der omgiver os er bygget op af atomer er den helt afgørende erkendelse i naturvidenskabens beskrivelse af virkeligheden.



Bohrs atommodell

Af Søren Keiding

■ En selvfølgelig, men ikke nødvendigvis triviel forudsætning for, at vi kan tale om naturvidenskabelig metode, er, at der findes en eller anden form for virkelighed, som vi kan iagttage, observere eller lave målinger af. Med andre ord er det en forudsætning for kanoniseringen af teorier som klassisk mekanik, kvantemekanik, relativitetsteori, m.fl., at vi har en ide om, hvad virkeligheden består af. Erkendelsen af, at vi selv, og den verden, der omgiver os er bygget op af atomer – eller grundstoffer, som de også kaldes – er den helt afgørende

erkendelse i naturvidenskabens beskrivelse af virkeligheden. Ser vi bort fra mere eksotiske steder som i Solens indre, i sorte huller, eller andre spændende steder i Universet, så er alt opbygget af atomer og alt virker ved atomernes vekselvirkning med hinanden. Skiller vi tingene ad og begynder at studere, hvad de består af, så finder vi ud af, at alt hvad vi og omgivelserne består af, er atomer. Atomerne er med andre ord de byggesten, vores virkelighed er sat sammen af, og de udgør den virkelighed, som alle vores teorier skal prøve at forklare.

Grundstoffer

Der findes omtrent 92 naturligt forekommende stabile grundstoffer, startende med Brint som det letteste og simpleste og sluttende med det tungeste grundstof Uran. Mange grundstoffer kan optræde i tungere eller lettere udgaver kaldet isotoper. Kulstof-14 er eksempelvis en lidt tungere version af kulstof-12, som er langt den mest almindelige form for kulstof. De seneste halvtredsår har fysikerne ved hjælp af store accelerators lært at skabe kunstige,



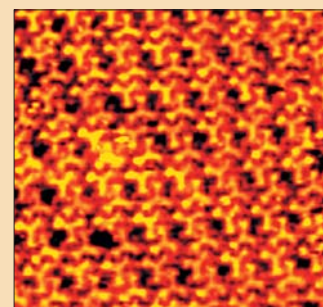
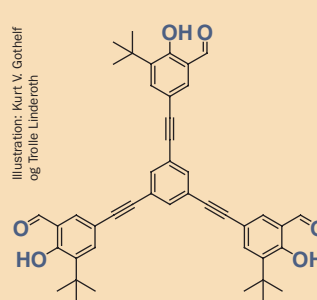
Et portræt af den store fysiker Niels Bohr pryder femhundredekronesedlerne. Han har ydet afgørende bidrag til forståelsen af atomets struktur.



Foto: Jens Lykke Sørensen og Michael Drewnsen

Figur 1. Med moderne eksperimentelle teknikker er det nu muligt både at iagttage og manipulere enkelte atomer. Figuren viser fire Calcium-ioner, der er arrangeret som perler på en snor i et vakuumkammer.

Med en laserstråle kan atomerne køles til temperaturer nær det absolutte nulpunkt og derefter kan de fanges i en fælde. Samtidigt udsender ionerne en lille smule lys og med højfølsomme kameraer kan de enkelte atomer iagttages.



Figur 2. Meget moderne kemi henter sin inspiration i naturens måde at lave mønstre og strukturer. Med kemisk syntese kan man således udforme helt bestemte mønstre, hvor atomerne først bygges sammen til molekyler, som derefter kan organisere sig i bestemte mønstre og former.

Billedet viser, hvordan den molekylære byggesten, vist skematisk til venstre på figuren, ordner sig i et smukt mønster på en guldoverflade. Billedet til højre er optaget med et STM-mikroskop, der gør det muligt at se de enkelte atomer og molekyler på overflade.

eller syntetiske grundstoffer, der er tungere en Uran. Omkring 20 sådanne *transurane* atomer er blevet skabt på denne måde, men de fleste er meget ustabile og henfalder i løbet af brøkdele af et sekund.

I første omgang vil vi dog koncentrere os om de ca. 92 stabile atomer, der udgør grundstofferne, og som findes grupperet i det periodiske system.

Partikler og molekyler

Atomerne selv består af tre slags partikler: elektroner, protoner og neutroner, og de letteste grundstoffer, primært brint og helium, blev skabt direkte i forbindelse med Big Bang. De tungere grundstoffer er efterfølgende blevet skabt dels ved sammensmeltning (fusion) af lettere atomer i stjernernes indre og som et resultat af supernova-eksplosioner. Med andre ord var Stella Nova supernovaen, som Tycho Brahe (1546-1601) observerede i 1572, ikke kun startskuddet til en videnskabelig revolution, den kan også meget vel have skabt grundstoffer til en fremtidig civilisation i vores galakse. Vi er med andre ord alle sammen skabt ud af støvet fra en eksploderet stjerne!

Atomerne er bygget op omkring en meget tung, meget lille og positivt ladet kerne omgivet af negativt ladede og meget lette elektroner. Det er, mere end nogen anden, Niels Bohr (1885-1962), der har bidraget forståelsen af, hvordan atomerne er opbygget: Elektronerne er bundet til at befinde sig i bestemte tilstande, der er udtryk for dels, hvor meget energi elektronerne har, og dels, hvordan de rent rumligt er fordelt omkring atomkernen. Når elektronerne skifter tilstand, sker det ved hjælp af lys. Når elektronerne skifter til en lavere tilstand udsendes der lys, og når de skifter til en højere tilstand sker det ved, at atomerne absorberer lys. De forskellige tilstande kaldes for orbitaler, og atomernes egenskaber er entydigt betemt af, hvilke orbitaler elektronerne befinder sig i. Det er også orbitalerne, der er grundlaget for placeringen

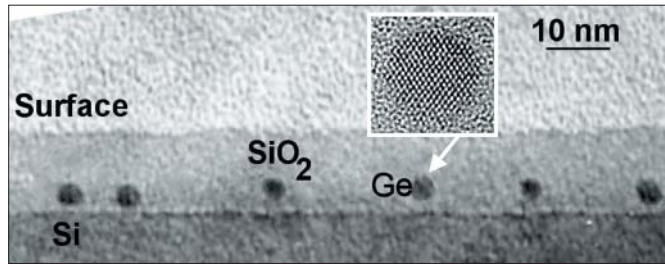


Foto & grafik: Arne Nylandsted Larsen

Figur 3. Moderne elektroniske komponenter bliver mindre og mindre. Billedet ovenfor viser en lille del af en chip baseret på en blanding af Silicium, Germanium og Silicium-oxid. De enkelte Germanium-punkter (quantum dots) er kun ca. 4 nm i diameter og i den indsatte forstørrelse kan man se de enkelte krystalplaner. Komponenter som disse kan bl.a. anvendes til at lagre meget store datamængder på meget lidt plads. Figuren giver også et hint om, at elektroniske komponenter snart ikke kan blive mindre.

af atomerne i det periodiske system, og det er derfor også orbitalerne, der giver atomerne, deres kemiske egenskaber.

Atomer kan binde sig til andre atomer og danner dermed molekyler. Nogle molekyler indeholder kun to atomer, mens de store molekyler, eksempelvis de, der danner grundlaget for biologisk aktivitet, kan indeholde tusindevis af atomer. Vi er opbygget af store biologiske molekyler og alle de processer, der holder os i live, bygger på kemiske reaktioner, hvor atomerne flytter rundt mellem forskellige molekyler. Nogle processer omfatter meget store molekyler, mens andre biologiske processer omfatter ganske få atomer, der skifter plads eller laver nye kemiske bindinger.

Udfordringen

Vi har en god forståelse af de enkelte atomernes opbygning og struktur, og vi har ordnet dem i det periodiske system. Vi forstår samtidigt de kræfter, der virker mellem to atomer, så vi har, i det store hele, kendskab til det grundlag, som både kemi og biologi hviler på. Udfordringen for forskerne i dag er at forstå kompleksiteten, idet atomerne er så små, at der selv i meget små stofmængder er ufatteligt mange atomer. Hvis jordens befolkning var atomer, kunne vi faktisk klemme hele jordens befolkning ind i en terning, hvor siderne kun er ca. 0,0002 mm lange. Og her opstår problemet: for selv om

vi har styr på atomerne to og to, eller måske lidt flere, så kan vi slet ikke håndtere, dvs. regne på, systemernes egenskaber, når der er for mange atomer tilstede. Med andre ord: selv om vi har fint styr på brint- og iltatomerne, og selvom vi har fint styr på et enkelt eller to vandmolekyler, så kan vi stadig ikke udregne egenskaberne af selv en lille bitte vanddråbe. ■

Om forfatteren



Søren Keiding er professor ved Kemisk Institut, Aarhus Universitet
Tlf.: 8942 3861
E-mail: keiding@chem.au.dk

Videre læsning:

I isotopernes verden. Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2004.

Niels Bohr - dansker og verdensborger. Aktuel Naturvidenskab nr. 3/2001

Atomteoriens historie

Den græske naturfilosof Demokrit (460-370 f.Kr) var så vidt vides den første til at fremsætte en teori om at verden består af en masse små dele kaldet *atomos*. Han postulerede, at atomerne udførte mekaniske bevægelser, at de hang sammen vha. kroge, og at de havde forskellige størrelser og former. Men ellers var der ikke kvalitativ forskel på dem. Mens Demokrits teori gik i glemmebogen, blev det i stedet Aristoteles, der sætter dagsordenen som fortæller for den berømte teori om, at verden bestod af fire elementer; jord, vand, luft og ild. I flere hundrede år var denne teori en integreret del af samtidens religion og det blev i mange tilfælde betragtet som kætteri ikke at tro på teorien.

Dette var situationen i mange århundreder og man skal helt frem til 1600-tallet før atomteoriens alvor kom til ære og værdighed igen og blev fremstillet i en form, der var forenelig med religionen. Atomteori i dens moderne form tilskrives normalt John Dalton (1766-1844), som var den første til at opstille de forskellige ideer om atomer i en universel atomteori.

En anden milepæl var da russeren Dmitrij Mendelejev (1834-1907) og tyskeren Lothar Meyer (1830 - 1895) uafhængigt af hinanden ordnede grundstofferne i en tabel med vandrette og lodrette rækker i den udformning, der stadig bruges i dag og kendes som *Det periodiske system*.

Endelig har videnskaben med Niels Bohrs (1885-1962) atommodel fra 1913 og udviklingen af kvantemekanikken derefter, opnået en meget præcis beskrivelse af verdens grundlæggende bestanddele.

Relativitetsteorien

Fundamentale begreber som tid, rum, samtidighed, masse, tyngdekraft og energi involverer alle relativitetsteorien. Teoriens mange konsekvenser har været afprøvet i stor detalje, uden at teorien endnu har vist svaghedstegn.

Af Ulrik I. Uggerhøj

■ Albert Einsteins (1879-1955) relativitetsteori har betydet en grundlæggende ændring i synet på nogle af de mest fundamentale begreber som tid, rum, samtidighed, masse, tyngdekraft og energi. Det er således resultater fra relativitetsteorien, at tidens gang ændres under bevægelse, at længder og samtidighed afhænger af hastigheden af observatøren, at energi er en form for masse og omvendt, samt at tyngdekraften kan opfattes som et geometrisk fænomen.

Den specielle og den generelle

I daglig tale taler man om relativitetsteorien, men der er i virkeligheden tale om to dele, udviklet hver for sig af Einstein i hhv. 1905 og derefter i perioden frem til 1915. Den første del, den *specielle* relativitetsteori, omhandler fænomener der optræder ved hastigheder, der er sammenlignelige med lysets.

Den anden del, den *generelle* relativitetsteori, omhandler fænomener i tyngdefelter, der f.eks. omgiver kompakte astronomiske objekter. Den specielle relativitetsteori er matematisk set (men ikke erkendelsesmæssigt) relativt simpel, mens den generelle teori derimod er ret



Einstein i 1905, da han arbejder på patentkontoret i Bern, og samtidig publicerede banebrydende artikler.

krævende matematisk. De to dele er bundet sammen af den bærende tanke, kaldet relativitetsprincippet, at naturens love må formuleres ens i forskellige koordinatsystemer – dvs. i referencerammer med forskel-

lige bevægelser eller tyngdepåvirkninger. De basale naturlove skrives med andre ord på samme måde hvad enten man er i bevægelse eller hvile, i et tyngdefelt eller ej. Det såkaldte ækvivalensprincip sammen-

holder desuden i den generelle relativitetsteori et accelereret referencesystem med et fastholdt referencesystem i et tyngdefelt. Dette princip var Einsteins "lykkeligste tanke" at hvis man falder frit kan man ikke mærke tyngdekraften – et fænomen der i dag er velkendt blandt astronauter.

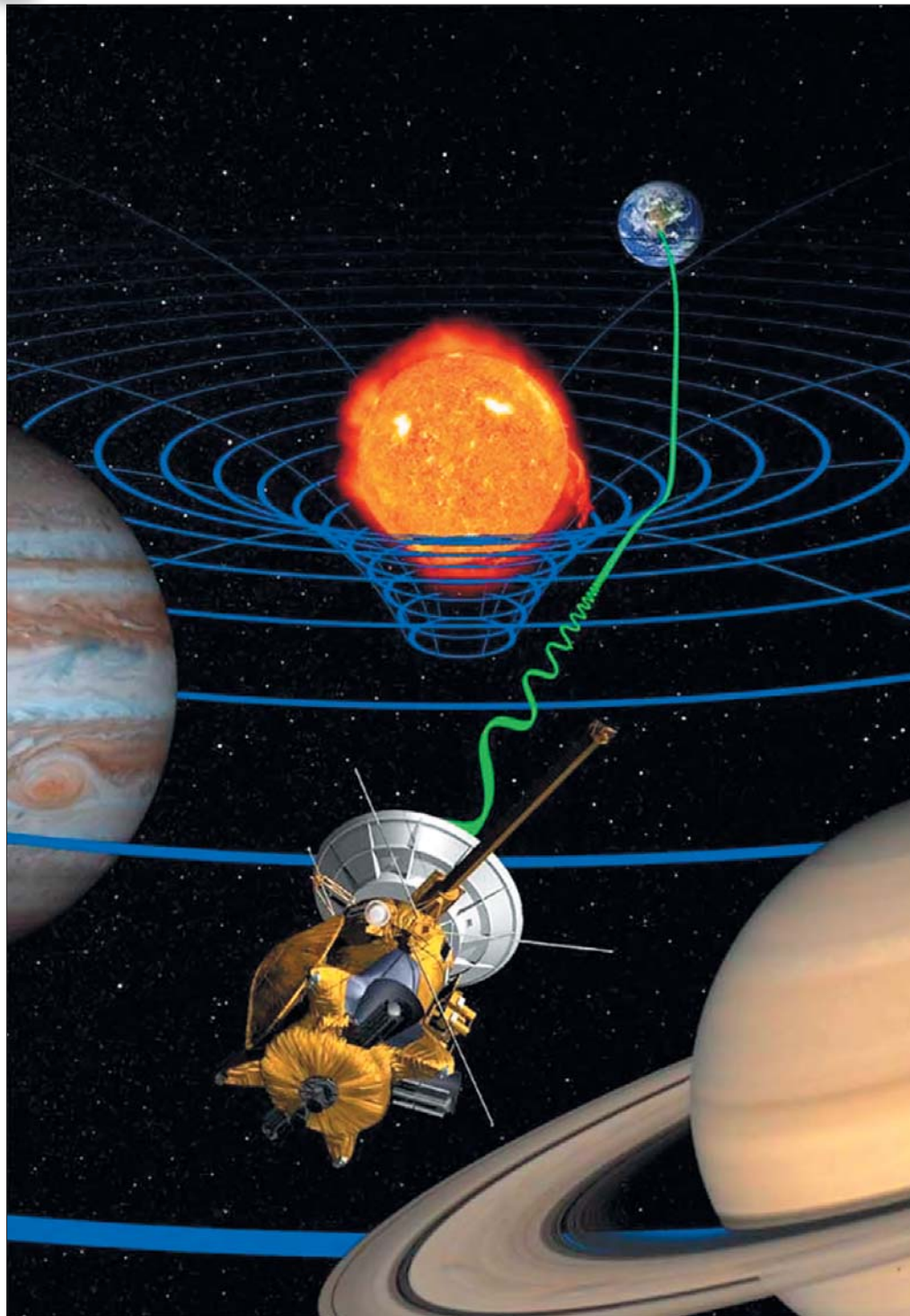
Et af grundlagene for den specielle relativitetsteori er, at lysets hastighed er endelig (dvs. ikke uendelig) og konstant. Denne erkendelse har betydet en skærpelse af opfattelsen af sammenhænge mellem årsag og virkning. Sådanne sammenhænge er helt centrale i naturvidenskaben, idet videnskabens fundament netop er en systematisk undersøgelse af årsag-virkningssammenhænge i erfaringer, opnået f.eks. ved kontrollerede eksperimenter eller ved astronomiske observationer. Da intet kan bevæge sig hurtigere end lyset, kan en årsag ét sted ikke øjeblikkeligt medføre en virkning et andet sted.

Den danske astronom Ole Rømer (1644-1710) var i øvrigt den første til at påvise, at lysets hastighed ikke er uendelig, baseret på observationer af Jupiters måne Io i årene frem til 1676.

Relativitetsteorien som redskab

Som et redskab har relativitetsteorien været afgørende for andre teoriers tilblivelse – f.eks. teorien om Universets udvikling, kosmologien (se boks), eller teorier om eksistensen af sorte huller og neutronstjerner. Sorte huller, hvis eksistens først i løbet af det seneste årti er blevet bekræftet, er objekter, der er så tunge og kompakte, at end ikke lys kan undslippe deres tyngdekraft – det er altså umuligt at få information direkte fra dem. Neutronstjerner, derimod, har været kendt i snart 40 år og kan betragtes som en enorm udgave af en atomkerne.

Ligeledes er teorier om elementarpartiklernes indbyrdes relationer og vekselvirkninger, de såkaldte kvantefeltteorier, kort sagt en blanding af den specielle relativitetsteori og kvantemekanik. Sådanne teorier er essentielle i nutidens opfattelse af bestemte typer radioaktive henfald, og til forståelsen af mangeartede observationer ved moderne partikelacceleratorer, og faktisk kan moderne partikelacceleratorer kun konstrueres under hensyntagen til den specielle relativitetsteori. Ligeledes kan bevæ-



Målinger foretaget med Cassini-rumskibet viser at den tidsforsinkelse som lyset pga. afbøjning i Solens tyngdefelt er udsat for undervejs fra Jorden til Saturn, passer utrolig godt med den generelle relativitetsteoris forudsigelse.

gelsen af Solsystemets inderste planet, Merkur, kun beskrives præcist ved anvendelse af den generelle relativitetsteori, og den fine overensstemmelse mellem teori og observationer spillede en afgørende rolle for Einstein.

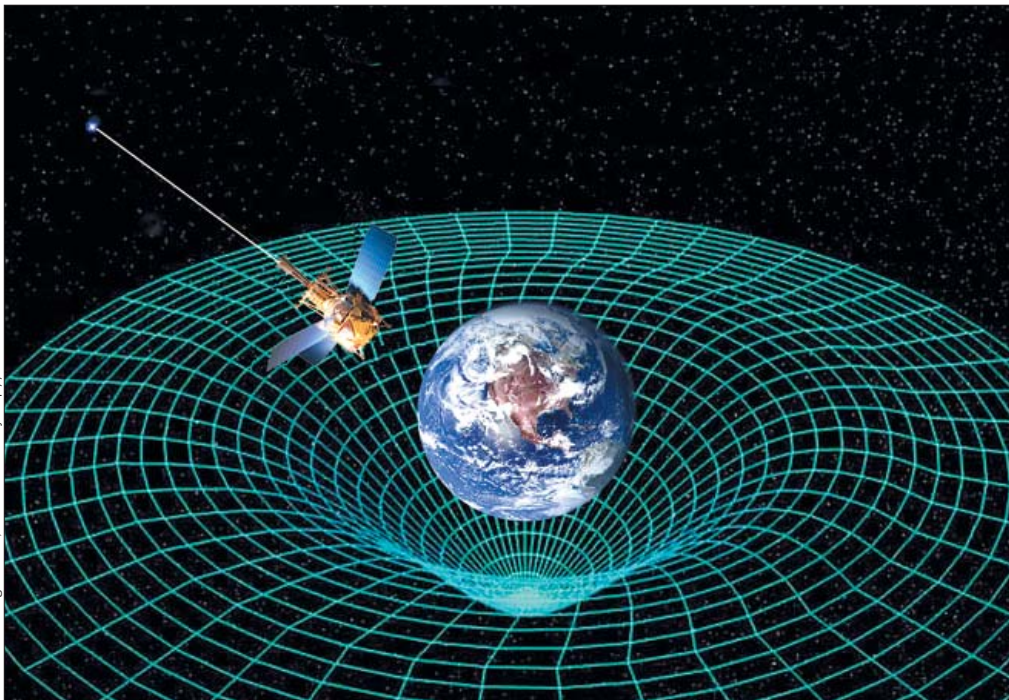
Moderne målinger foretaget med Cassini-rumskibet viser, at

den tidsforsinkelse, som lyset pga. afbøjning i Solens tyngdefelt er udsat for undervejs fra Jorden til Saturn, passer med den generelle relativitetsteoris forudsigelse inden for en mulig afvigelse på bare 0,002 procent. Det er den krumme geometri forårsaget af Solen, der indvirker på Jorden, således at

den forbliver i banen omkring Solen, og det er selvsamme krumning, der forsinker lyset under passagen nær Solens overflade.

Som mere dagligdags relevante fænomener af relevans for relativitetsteorien kan nævnes vores forståelse af Solens lys, det basale princip i kernekraft og

Grafik: GFB Image Archive, Stanford University. <http://einstein.stanford.edu>



Figuren viser rumsonden Gravity Probe B (opsendt 2004), som er designet til at måle rumtidens krumning forårsaget af Jorden og det fænomen, at Jordens rotation "trækker rumtiden med sig". Begge dele er forudsagt af Einsteins relativitetsteori, men er endnu ikke påvist.

Relativitetsteori i kosmologi

Det er fascinerende i sig selv, at der eksisterer en disciplin, der beskæftiger sig med "alt". Det er egentlig hvad den fysiske kosmologi er – læren om Universet som et hele, specielt dets tidlige udvikling og nuværende struktur over store afstande. Nogle af de helt basale elementer i den moderne kosmologi er de såkaldte Einstein-ligninger fra den generelle relativitetsteori, der i kort form beskriver sammenhængen mellem rummets krumning og stof (masse eller energi).

Stoffet fortæller rummet, hvordan det skal krumme, og rummets krumning fortæller stoffet, hvordan det skal bevæge sig. Allerede i den sproglige fortolkning af ligningerne fremgår det, at der er tale om en kompliceret sammenhæng. For en givet fordeling af stof antager rummet en bestemt krumning. Denne krumning giver anledning til at stoffet bevæger sig på en bestemt måde, hvorefter rummets krumning vil antage en ny form, der giver anledning til en ny bevægelse og så videre. Det viser sig dog, at under antagelsen »at Universet over tilstrækkeligt store afstande er homogent og isotropt, dvs. ens i alle retninger,« kan ligningerne løses, hvorved man finder, at Universet næsten nødvendigvis må udvide sig eller trække sig sammen.

At Universet udvider sig er i dag observationelt velfunderet og har været det siden den amerikanske astronom Edwin Hubble (1889-1953) i 1929 formulerede sin empiriske lov om »fjernere objekters hurtigere fjernelse«, men var det ikke da Einstein fandt sine ligninger. Det fik Einstein til at indføre et ekstra led i ligningerne, den såkaldte *kosmologiske konstant*, for at vise, at Universet måtte være statisk, i overensstemmelse med hans overbevisning. Han betegnede senere dette som sin største fejltagelse. Men i løbet af det seneste årti har det vist sig, at der måske alligevel er noget om snakken.

Fra Einsteins relativistiske ligninger kan man endvidere konkludere, at da Universet i dag udvider sig, må det til et bestemt tidspunkt i fortiden have haft en udstrækning på nul – det tidspunkt og den tilstand, vi normalt betegner *Big Bang*.

udviklingen af GPS-navigation, i alle tilfælde videnskabeligt forankret i relativitetsteorien.

Teorier om alting

Der findes også mere spekulative teorier, som f.eks. superstringteoriene, der ligeledes er baseret på relativitetsteorien. Og så indgår relativitetsteorien selvfølgelig også i bestræbelserne på at udvikle en "teori om alt". Det er dog endnu ikke lykkedes at udvikle en fuldstændig og entydig teori, der indeholder både kvantemekanik og den generelle relativitetsteori.

Det er muligt, at sådanne fremtidige teorier vil afløse relativitetsteorien. Disse teorier vil dog formentlig ikke tilbagevise relativitetsteorien, men snarere udvide dens gyldighedsområde til at indeholde en beskrivelse af fænomener, der på nuværende tidspunkt ikke kan beskrives.

Relativitetsteorien er afprøvet i snart hundrede år uden at vise fejl eller mangler, og det virker meget usandsynligt, at den vil forsvinde ud i historiens glemsele, om end den kan vise sig at være et grænsetilfælde af en mere omfattende teori. ■

Om forfatteren:



Ulrik I Uggerhøj er lektor og underviser i relativitetsteoriens eksperimenter på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Tlf.: 89 42 37 38

E-mail: ulrik@phys.au.dk

www.phys.au.dk/~ulrik/
formidling

Videre læsning

Ulrik Uggerhøj: *Tid - Den relative virkelighed*. Aarhus Universitetsforlag 2005.

Tor Nørretranders: *Einstein, Einstein*. Politikens forlag 2005.

3 artikler i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 2 - 2005: *Relativistiske eksperimenter; Relativitetsteorien samt Albert Einstein - Naturfilosof og Menneske*.

Aktuel Naturvidenskab nr. 2 - 2004: *Den relativistiske tommestok*.

(GPS) P. Enge, *Scientific American*, May 2004, s. 65

Økologien

En række erkendelser har været vigtige for udviklingen af økologien – forståelsen af vekselspillet i naturen mellem arterne, miljøet og mennesket. Økologiens særlige betydning skyldes, at den er værktøjet til at vurdere vores egen, naturens og Jordens fremtid.

Af Kaj Sand-Jensen

Økologi er i dag et ord, der kan tillægges mange betydninger afhængig af sammenhængen. Økologi handler som udgangspunkt ikke om grøntsager i det lokale supermarked, men om at forstå vekselspillet i naturen mellem arterne, miljøet og mennesket. Derfor har økologiens erkendelser enorm praktisk betydning, da forståelsen af økologiske sammenhænge i sidste instans er afgørende for vores fremtid.

Økologiens botaniske udgangspunkt

Grundlaget for økologien er den erkendelse, at arternes opbygning, udbredelse og hyppighed afhænger af klimaet og miljøet, men at organismene tillige påvirker klimaet og miljøet i et gensidigt vekselspil.

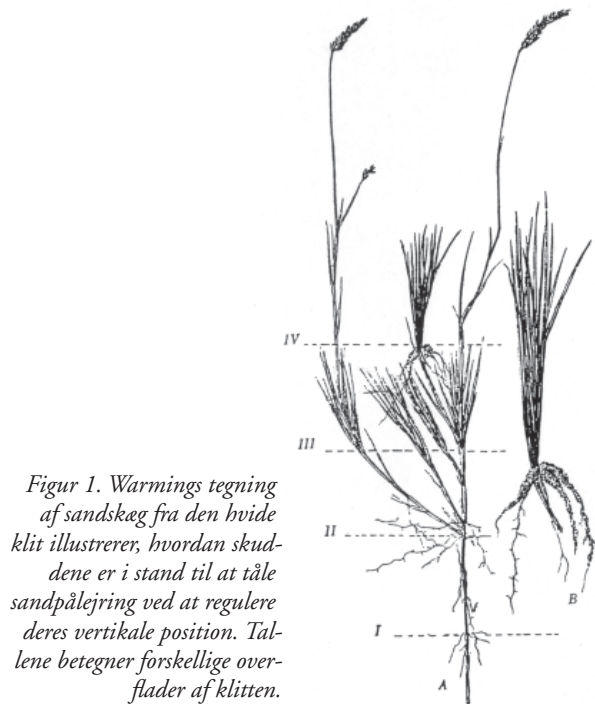
Det er en erkendelse, der blev gjort i bestræbelserne på at afsløre indholdet af den centrale metafor i Darwins evolutionsteori – nemlig arternes eksistenskamp i naturen, som omfatter alle de faktorer, der påvirker organismernes overlevelse og formering.

Det var den tyske naturforsker Ernest Haeckel (1834-

1919), der i 1860 introducerede ordet *oekologie* om organismernes komplekse kamp for tilværelsen, men det blev i høj grad en dansk forsker, der satte sit præg på økologiens tidlige udvikling. Den unge botaniker Eugenius Warming (1841-1924) satte i 1860'erne ord på økologiens formål med sit videnskabelige program: »at studere floraens ejendommeligheder og de naturforhold, hvoraf de betinges.«

Warming påviste bl.a. betydningen af arternes opbygning og spredningsevne i den indbyrdes konkurrence og i modstandsdygtigheden mod forstyrrelse, f.eks. vind og sandpålejring (figur 1). På baggrund af sine studier ved Vestkysten, kunne han påvise, at den tidsmæssige udvikling af vegetationen blev afspejlet rumligt i klitterne ved ændringerne i arternes forekomst og hyppighed fra stranden, over den unge hvide klit til den gamle grå klit i baglandet.

Mens Warming således kunne vise, hvorledes de enkelte plantarters opbygning var tilpasset til miljøet, var det svært at skaffe sig overblik over tilpas-



Figur 1. Warnings tegning af sandskæg fra den hvide klit illustrerer, hvordan skudene er i stand til at tåle sandpålejring ved at regulere deres vertikale position. Tallene betegner forskellige overflader af klitten.

ninger hos de mange arter i de lokale samfund og i større områder med et givet klima. Dette overblik kom imidlertid med efterfølgeren Christen Raunkjær (1860-1938), der samlede arterne i grupper med en karakteristisk livsform og sammenholdt den procentvise forekomst af disse livsformer

med klimaet på voksestedet. Til at skelne mellem livsformerne anvendte han placeringen af formeringsknopperne. Derefter kunne han påvise den statistiske sammenhæng mellem dominansen af arter med højtsiddende, ubeskyttede knopper i det gunstige klima i troperne over for dominansen i kolde og tørre

Tabel 1

Raunkjærs statistiske opgørelse af den procentvise forekomst af arter i den tropiske, tempererede og arktiske flora mellem livsformer med: I - knopperne placeret ubeskyttet, højt (> 25 cm) over jorden, II - knopperne under 25 cm over jorden, III - knopperne ved jordoverfladen, IV - knopperne under jorden, og V - knopperne siddende beskyttet i frøet hos enårige arter.

	I	II	III	IV	V
Troperne	65	5	10	5	15
Tempereret	10	5	50	20	15
Arktisk	0	30	50	15	5



Foto: Carsten R. Klæber

Søer er forholdsvis overskuelige økosystemer, hvor det er nemt at tage målinger og lave observationer. Derfor er megen af den vigtige økologiske forskning gennem tiden foretaget i søer.

egne af arter med knopperne siddende beskyttet tæt ved eller nede i jorden (tabel 1).

Bestandenes matematik

Darwin fremhævede konkurrencen mellem et overskud af individer af samme art, som

den vigtigste drivkraft for selektionen (udvælgelsen) af de bedst egnede individer og dermed for evolutionen.

Denne påstand blev eksperimentelt testet i 1930'erne, hvor matematikken for alvor holdt sit indtog i økologien.

Det viste sig, at man ved hjælp af differentialregning kunne forudsige resultatet af simple eksperimenter med konkurrencen mellem to nærtstående arter og samspillet mellem et byttedyr og et rovdyr. Det blev klart, at konkurrence mellem

nærtstående arter i et simpelt og fødebegrænset miljø førte til, at den ene art blev udkonkurreret, som forudsagt af Darwin, mens komplekse forhold gjorde det muligt for arterne at sameksistere, fordi arterne kunne opsøge deres respektive foretrukne miljøer.

Denne matematiske indgang til økologien er udvidet i nutidens komplicerede computeranalyser af bestandsreguleringen af arterne, hvad enten det drejer sig om konsumfisk, jagtbart vildt, skadedyr, epidemiske sygdomme eller truede arter. I modellerne indgår formering, dødelighed, indvandring og udvandring både for enkelte bestande og for koblede bestande, hvoraf visse leverer et overskud af individer, der sikrer artens overlevelse i andre bestande med en større dødelighed end formering. Det har også vist sig, at konkurrencen på mange områder mellem flere arter kan foregå uden uddøen.

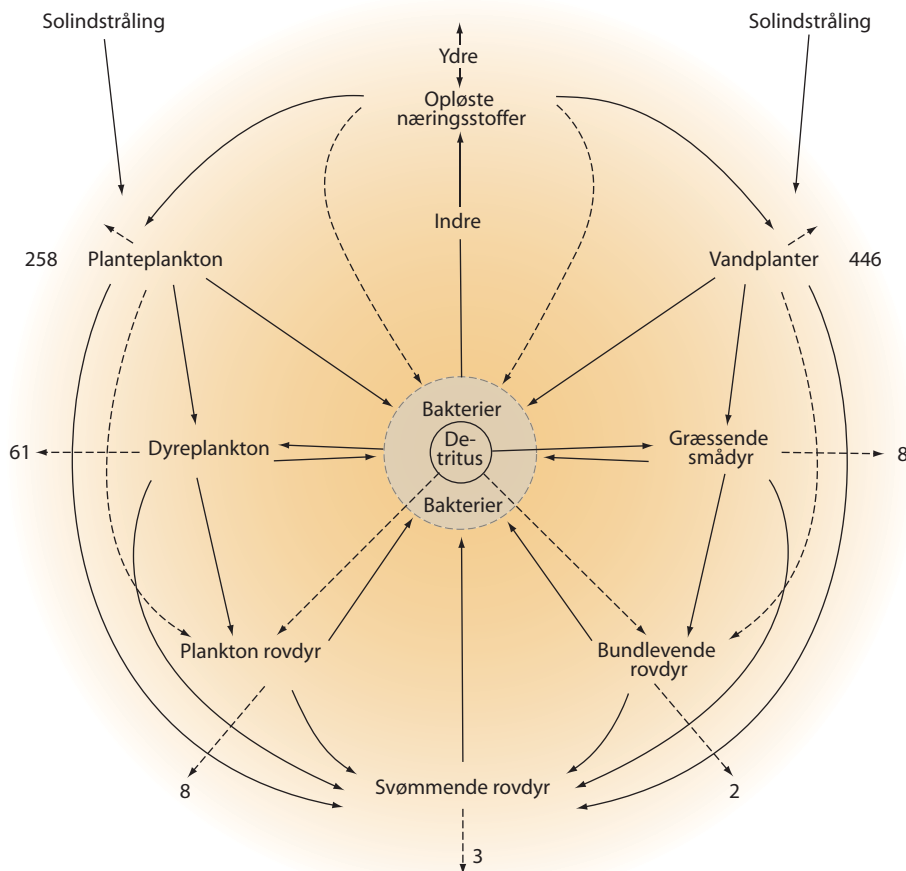
Økosystemers opbygning og processer

Et klassisk problem i økologien har været at beskrive samspillet mellem de utallige arter.

I 1942 beskrev den amerikanske økolog Raymond Lindeman (1915-1942) den biologiske struktur på en håndterbar måde ved at inddelle organismerne efter den samme funktion, uanset arten. Her ved kunne han operere med afgrænsede funktionsenheder i en fødekæde med planter, græssere, rovdyr og tilknyttede nedbrydere (såkaldte trofiske niveauer). Hans næste skridt var at måle strømme af organisk kulstof og energi mellem de forskellige trofiske niveauer i et afgrænset økosystem (en sø) og fastlægge, hvor effektive disse energioverførsler var.

Lindemans betragtninger har siden været anvendt på alle typer af økosystemer på land og i vand. I dag kan den samlede omsætning i økosystemerne beskrives ved automatiserede målinger af ilt i vand og kuldioxid på land. Endvidere kan man med stor nøjagtighed beskrive tilførsler,

Fødekæder og energi i økosystemet



Fødekædens opbygning i søens økosystem gengivet fra Lindemans afhandling. Produktionen af de forskellige trofiske enheder (i kcal per m² for et år) er tilføjet. Detritus er dødt organisk stof.

Den amerikanske økolog Raymond Lindeman gjorde økosystemet – et integreret system af arterne og det omgivende miljø – til kernen i sin videnskabelige analyse. Han reducerede de mange arter til enheder af samme biologiske funktion og satte energital på relationerne. Lindeman undersøgte den lille sø, Cedar Creek Bog i Minnesota og nåede at skrive 6 afhandlinger om den, før han døde blot 27 år gammel.

Lindemans stjerneafhand-

ling: *The trophic-dynamic aspect of ecology*, udkom posthumt i tidsskriftet *Ecology* i 1942. Artiklen blev først forkastet, men blev antaget efter indgriben af den berømte ferskvandsbiolog G. Evelyn Hutchinson, som argumenterede kraftigt for dens kvaliteter.

Lindeman, som var bevist om sin snarlige død, skriver i sin konklusion, at hans analyse kun dækker et enkelt økosystem. Han opfordrer derfor sine efterkommere til at udvikle sta-

tistiske generaliseringer om:

1. reduktionen i tilgængelig energi op gennem fødekæden fra planter til rovdyr,
2. effektiviteten i energioverførsler mellem de enkelte led og

3. vækstudbyttet i forhold til mængden af konsumeret føde for organismer med forskellig størrelse og placering i fødekæden.

Mange af hans resultater i 1942-afhandlingen har faktisk vist sig at være generelle.

tab og cirkulationen af de nøglestoffer, der begrænser omsætningen såsom kvælstof og fosfor. Vi har nemlig erkendt, at netop kvælstof og fosfor på dramatisk vis kan ændre arternes forekomst og hyppighed og forstyrre økosystemets funktion. Det ses i Danmarks næringsberigede landskab, hvor ukrudtsplanterne marcherer ind overalt på land, mens iltsvindet hærger i søerne

og kystområderne.

Netop næringsstoffernes og klimaets påvirkning af arternes forekomst og energiomsætningen i økosystemernes vil forskningsmæssigt være i centrum de næste mange år.

Skalaens betydning

For økologiens øjeblikkelige succes har det været afgørende at erkende, at sammen-

hænge og reguleringer ikke er nagelfaste, men ændrer sig med den rumlige skala fra enkeltindivider, over bestande til større samfund og økosystemer. Mens der findes tilnærmelsesvis lovmæssigheder for enkelt individer og processer, så ændres de til fremtrædende statistiske mønstre for mange arter og hele økosystemer. ■

Om forfatteren



Kaj Sand-Jensen er professor ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
Tlf.: 3532 1905
E-mail: KSandJensen@bi.ku.dk

Videre læsning:

Goodland, R.J. 1975. *The tropical origin of ecology: Eugen Warming's jubilee*. *Oikos* 26: 240-245.

Lindeman, R.L. 1942. *The trophic-dynamic aspects of ecology*. *Ecology* 23: 399-418.

Real, L.A. & Brown, J.H. (eds.) 1991. *Foundations of ecology*. Univ. of Chicago Press.

Sand-Jensen, K. 2000. *Økologi og biodiversitet*. Gads Forlag.

Warming, E. *Plantefundamentet - Grundtræk af den økologiske Plantegeografi*. Oversat til tysk, polsk, russisk og engelsk.

Kvantemekanikken

Den klassiske fysik og vores hverdags erfaringer siger, at årsag og virkning altid følges ad. I kvantefysikken er det derimod aldrig muligt at finde årsagerne til en begivenhed – og det skyldes ikke manglende indsigt, men afspejler en dybtliggende tilfældighed i naturen.

Af Benny Lautrup

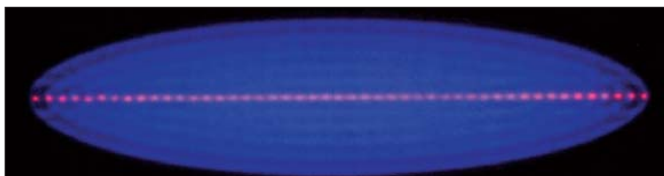
■ Erkendelsen af at naturen på det dybeste plan beskrives ved en teori der er meget forskellig fra den makroskopiske, klassiske beskrivelse, er kun cirka 100 år gammel. Denne teori, som i dag er kendt som *kvantemekanikken*, har udviklet sig fra en teori for atomernes struktur til en generel teori for hele den mikroskopiske verden, og tilmed for nogle helt makroskopiske fænomener, for eksempel superledning og superflydning.

Med minituariseringen af især den elektroniske teknologi har kvantemekanikken i dag stor betydning for de fleste af de apparater og maskiner, vi til hverdag benytter med selvfølgelighed. Mange forbløffende kvanteeptiske fænomener har set dagens lys i de senere år. Kvantekryptering er allerede en realitet. Kvantemekanikkens løfter om en helt ny type computerteknologi er i disse år under intens udforskning.

Selvom vi således hjemmavant forsøger at udnytte de muligheder, kvantemekanikken stiller i udsigt, foruroliger de besynderlige konsekvenser af denne teori stadig de fleste, der beskæftiger sig med den.

Teoriens utilgængelighed

Gennem fysikkens udvikling har de fundamentale teorier langsomt fjernet sig fra hver-



En streng af ioner i et stort ionkristal: En mulig prototype på et kvanteregister til brug i en fremtidig kvantecomputer. Foto: QUANTOP

dagens intuitive forestillinger. Konklusionen er, at det fysiske univers hverken i det store eller i det små er sammenligneligt med de forestillinger, vi har tilegnet os gennem vores opvækst og livslange omgang med den nære materielle verden.

Galileis lov om inertie, Newtons love for bevægelse og tyngdekraft, Maxwells ligninger for elektromagnetisme, og Einsteins relativitetsteori indeholder alle formelle og matematiske abstraktioner, der ikke umiddelbart er tilgængelige for vores intuition. Beherskelsen af det matematiske apparat er i dag en forudsætning for at benytte disse klassiske teorier professionelt.

De har også alle gennem matematiske analyser vist sig at indeholde overraskende elementer, der af og til med stor fordel kan udnyttes industrielt. Selv relativitetsteorien, som de fleste anser for dagligdagen uvedkommende, er afgørende

for præcisionen af det satellitbaserede navigationssystem (GPS), som enhver hyrevogn i dag betjener sig af.

Den statistiske virkelighed

Kvantemekanikkens egentlige og rationelle fundament udgøres også af den matematiske formalisme. Men i modsætning til den deterministiske klassiske mekanik, er den kvantemekaniske beskrivelse af fysiske systemer som udgangspunkt statistisk. Eksperimenter har vist, at det ikke er muligt at betragte statistikken som et udtryk for manglende viden. I vores klassiske dagligdag er det velkendt, at enhver statistisk usikkerhed skyldes uvidenhed om for eksempel fejlkilder. Normalt kan vi ikke forudsige, om et møntkast fører til plat eller krone, fordi vi ikke kan kontrollere kastet. Hvis blot vi kendte møntens præcise starttilstand og omgivelsernes beskaffenhed, kunne vi præcist beregne dens

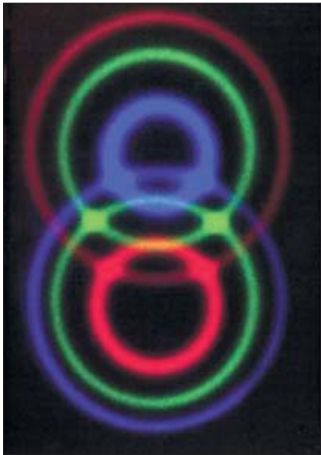
bane og dermed forudsige, om det bliver plat eller krone.

Forfinede analyser og eksperimenter har vist, at kvantemekanikkens statistiske beskrivelse ikke dækker over uvidenhed eller uformåenhed, men er en primær egenskab ved denne teori. Det er gennem de sidste hundrede år utallige gange eftervist, at det ikke er muligt at opnå en så fuldstændig viden om et fysisk system, at dets fremtid kan forudsiges deterministisk – altså med ubegrænset præcision. Kvantemekanikken er i bund og grund indeterministisk, og den afspejler en dybtliggende tilfældighed i naturen, som er i direkte modsætning til de klassiske forestillinger, der alle er deterministiske og dermed kausale. Mens den klassiske fysik kan karakteriseres ved, at enhver begivenhed følger kausalt af tidligere begivenheder, er det aldrig muligt at finde årsagerne til en begivenhed i kvantefysikken. Uanset hvor præcist man forsøger at sende en elektron ind mod en atomkerne, er det ikke muligt at forudsige med bestemthed, i hvilken retning den spredes.

Overvejning af muligheder

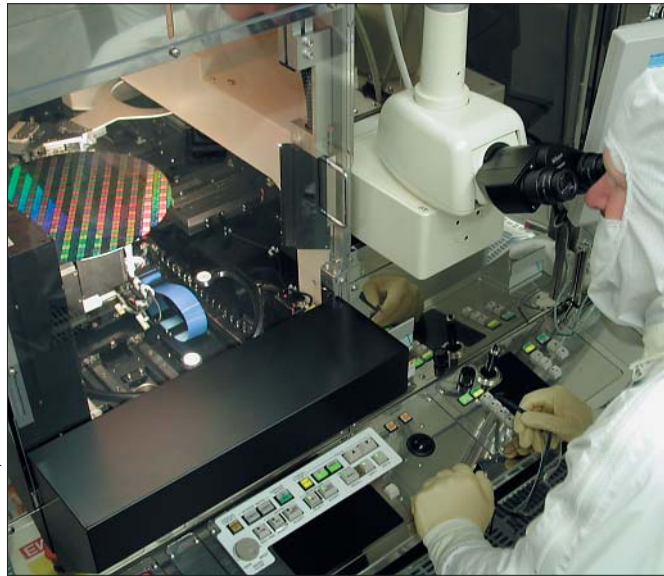
Kvantemekanikken giver os også hovedbrud i en anden sammenhæng. Hvis der i vores

Foto: P. Kwiat and M. Reck/Experimentalphysik, Univ. of Vienna



Et moderne eksempel på kvanteinterferens.

Foto: Intel Corporation



Virkemåden af megen avanceret teknologi kun kan forstås på grundlag af kvantemekanikken. Her ses et billede fra produktionen af moderne processorer fra Intel.

dagligdag er flere mulige veje at tage mellem to punkter, vil kun en af disse blive udvalgt af en given person, og bagefter kan vedkommende fortælle, hvilken vej der blev valgt. Det kan en elektron ikke!

Vi kunne naturligvis opsætte noget eksperimentelt udstyr, som tillod at bestemme, hvilken vej elektronen tog, for eksempel gennem observation af dens elektriske ladning.

Men lad os i stedet forestille os, at der ikke findes nogen måde eksperimentelt at afgøre, hvilken vej en elektron tager gennem et apparat, sådan at begge veje er fuldstændig ligeværdige åbne muligheder. Da fortæller kvantemekanikken os, at vi skal betragte en matematisk "overlejring" eller *superposition* af de to muligheder.

I kvantemekanikken beskrives eksperimentet matematisk ved hjælp af en bølge, hvis kvadrat udtrykker sandsynligheden for at finde elektronen på et givet sted. Bølgen er altså abstrakt og ikke materiel, som en vandbølge, men har dog de samme egenskaber som andre bølger. Specielt vil de to dele af bølgen, der svarer til de mulige veje i apparatet, kunne interferere med hinanden, og enten forstærke eller udslukke den samlede bølge. Men her hører lighe-

den også op. Kvantainterferensen har at gøre med elektronens mulige veje gennem et apparat. Interferensen kan ikke bestemmes af en enkelt elektron, men kun i den statistiske fordeling af myriader af elektroner, der passerer gennem apparatet. Det er ikke en vekselvirkning mellem de mange elektroner, der fremkalder interferensen. Der behøver for eksempel kun gå en elektron igennem apparatet hvert år for efter en årrække at kunne observere fænomenet.

Nogle vil sige, at elektronen samtidig tager begge veje, men et sådant udsagn har ingen mening, så længe det ikke kan afgøres eksperimentelt, og det var jo forudsætningen, at det ikke var muligt. Et eksperiment, hvori det kan afgøres, hvilken vej elektronen vælger, er en helt ny situation, der ikke fører til en superposition af vejene, og heller ikke til den samme fysik.

Fjernt fra hverdagsforestillinger

Det er dybt forunderligt og foruroligende, at den mest fundamentale teori for stofets egenskaber ikke lader sig indfange i de normale forestillinger, vi bærer på om verdens indretning. Elementær tilfældighed og superposition

af muligheder er så radikalt anderledes end noget, vi kender fra hverdagen. Der findes tilsyneladende ikke et enkelt og intuitivt tilfredsstillende svar på spørgsmålet om, hvad den virkelighed, vi selv er en del af, egentlig består af. ■

Om forfatteren:;



Benny Laustrup er professor ved Niels Bohr Institutet Københavns Universitet
Tlf.: 35 32 53 58
E-mail: lastrup@nbi.dk

Videre læsning:

Kvanteteorien - en livlig 100-årig, Aktuel Naturvidenskab 2000, nr 2.

Den kvantemekaniske computer, Aktuel Naturvidenskab 2000, nr 2.

Sammenfiltrering og kvanteinformation, Aktuel Naturvidenskab 2001, nr 5.

Debatartikel: Kvanteteoriens budskab, Aktuel Naturvidenskab 2004, nr 6.

Historiske højdepunkter

1900: Den tyske fysiker Max Planck (1858-1947) foreslår, at lyset består af små "pakker" elektromagnetisk energi (kaldet kvanter). Denne ide opstod i et forsøg på at forklare den fordeling af bølglængder, man observerede udsendt fra såkaldte "sortlegemer" (også kaldet hulrumsstråling). De små energipakker (kvanterne) bliver senere kaldt fotoner.

1905: Albert Einstein (1879-1955) bruger Plancks kvanter til at forklare den fotoelektriske effekt – dvs. det fænomen, at der udsendes elektroner fra en overflade (typisk af metal), når den udsættes for lys.

1913: Niels Bohr (1885-1962) forklarer brintatomets struktur og spektrum ved hjælp af Plancks og Einsteins kvanter.

1925: Den tyske fysiker Werner Heisenberg (1901-1976) opstiller matrixmekanikken som en matematisk veldefineret kvanteformalisme.

1926: Den østrigske fysiker Erwin Schrödinger (1887-1961) opstiller bølgemekanikken som en alternativ matematisk kvanteformalisme.

1926: Den tyske fysiker Max Born (1882-1970) fremsætter sandsynlighedsfortolkningen af bølgemekanikken, som siger, at kvadratet på en partikels bølgefunktion på et givet sted angiver sandsynligheden for at finde partiklen netop der.

1926: Den engelske fysiker Paul Dirac (1902-1984) viser, at Heisenbergs og Schrödingers formuleringer af kvantemekanikken er ækvivalente, og opstiller den formalisme, der bruges mest i dag.

Pladetektonikken

At Jordens overflade konstant ommøbleres af vældige tektoniske plader, der flytter kontinenterne rundt og forårsager jordskælv og vulkanudbrud, fremstår i dag som den fundamentale teori inden for geovidenskaberne.



Kort over Jordens opbygning med syv store og en række mindre litosfæreplader.

© Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS). Kilde: C. Scotese, Paleomap Project, 2003.

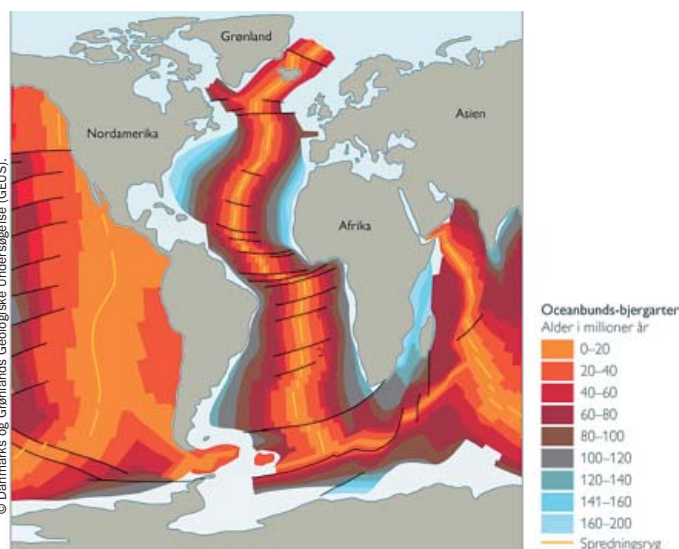
Af Finn Surlyk

Da jeg begyndte på geologi-studiet (i 1962) var alt, hvad vi lærte over mineral- og fossil-niveau, rablende nonsens. De stakkels lærere forstod heller intet af, hvad de selv stod og sagde, men det blev sløret af en enorm terminologi. Det var som biologien før Darwin: Der manglede den samlede syntese. Brikkerne eller murstenene var gode nok, men huset var endnu ikke opfundet.

Alt dette blev ændret med et hug af den pladetektoniske teori. Pladetektonikken blev formuleret i løbet af ganske få år i slutningen af 60'erne og betød et gigantisk gennembrud inden for geologi og geofysik. For første gang fik vi en logisk ramme for dannelsen af kontinenter og oceaner, for bjergkæder og dybhavsgrave, for vulkanisme og jordskælv. Kort sagt fik vi en samlet forståelse af, hvorfor Jorden ser ud, som den gør.

Kontinentaldrift

Mistanken om, at kontinenterne ikke altid har ligget, hvor de ligger i dag, er dog ikke af ny dato. Så tidligt som i starten af 1600-tallet var Jordens kontinenter efterhånden blevet opmålt, og det fik naturforskere til bl.a. at notere sig den bemærkelsesværdige lighed



Kort der viser havbundens alder omkring de midtoceaniske rygge. De midtoceaniske rygge ligger der, hvor bjergarterne på havbunden er yngst – og jo længere væk fra de midtoceaniske rygge, man bevæger sig, jo ældre er bjergarterne. Påvisningen af dette mønster i havbundens alder har været et af de væsentlige beviser for pladetektonikken.

mellem kystlinierne på hver side af Atlanterhavet. Det så med andre ord ud til, at de afrikanske og sydamerikanske kontinenter engang havde hængt sammen, men var blevet revet fra hinanden af vældige kræfter.

Det blev den tyske naturforsker Alfred Wegener (1880-1930), der i 1912 fremsatte den første slagkraftige teori om kontinenternes bevægelse,

kontinentaldriftteorien. Ifølge denne teori svømmede kontinenterne så at sige rundt som lette isbjerge i oceanbundens hav af basalt.

Wegeners teori fik ikke den store opbakning, mens han levede og blev i det store hele forkastet af de videnskabelige miljøer. Især blandt geofysikere mødte teorien modstand, primært fordi man ikke kunne forestille sig en mekanisme, der

kunne flytte rundt på kontinenterne. Der er en vis ironi i, at det i høj grad blev geofysikernes observationer, der sikrede pladetektonikkens endelige gennembrud. Især blev påvisningen af det fænomen, vi kalder havbundsspredning, en afgørende bekræftelse af teorien. Havbunden består overvejende af den vulkanske bjergart basalt, som strømmer op gennem et gigantisk sammenhængende system af hovedsagelig undersøiske vulkaner, der i et zig-zag-mønster strækker sig gennem de store oceaner. Dette vulkansystem er kendt som de midtoceaniske rygge, og man har kunnet påvise, at oceanbunden bliver ældre og ældre, jo længere væk fra de midtoceaniske rygge, man bevæger sig.

Pladebevægelser

Den vigtigste forskel på Wegeners teori om kontinentaldrift og pladetektonikken er, at kontinenterne ikke, som Wegener troede, bevæger sig i forhold til den omkringliggende havbund. I stedet er det yderste lag af Jorden – det man kalder litosfæren – brudt op i kæmpemæssige plader, der omfatter både oceaner og de tilstødende kontinenter. Kontinenter "flyder" hele tiden ovenpå, fordi de består af lettere



Foto: J.K. Nakata, U.S. Geological Survey

De store, kraftige jordskælv udløses, hvor to litosfæreplader støder sammen eller glider langs med hinanden. Ødelæggelserne fra skælvene kan være store. Her ses et eksempel fra Californien, USA.

Om forfatteren:



Finn Surlyk er professor
Geologisk Institut
Københavns Universitet
Tlf.: 3532 2453
E-mail: finns@geol.ku.dk

Yderligere information:
www.geologi.dk/geoemner.asp

Den Dynamiske Jord - informationshefte fra GEUS. Kan hentes på www.geus.dk

Illustrationerne er fra bogen: Grønlands geologiske udvikling - fra urtid til nutid. GEUS 2005.

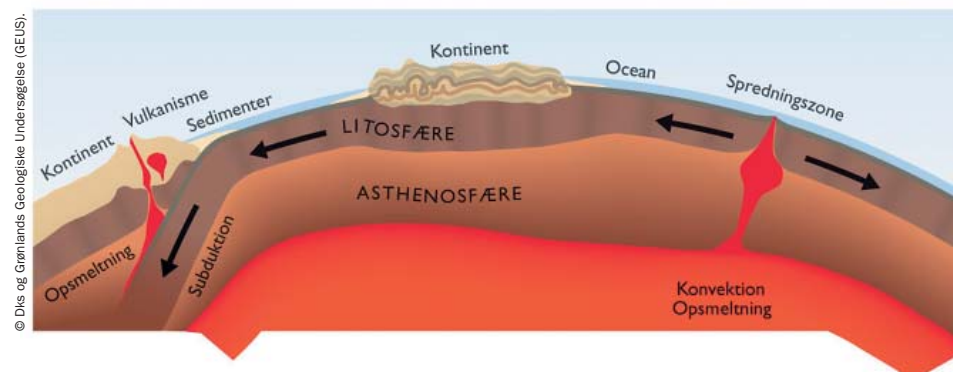
bjergarter end basalt.

Pladebevægelserne forklarer samtidig dannelsen af bjergkæder og dybhavsgrave såvel som jordskælv og vulkanudbrud. Hvor et kontinent støder sammen med et andet kontinent, dannes bjergkæder som Alperne og Himalaya. Hvor oceanplader støder mod oceanplader dannes dybhavsgrave. Ny oceanbund opstår, hvor to oceanplader driver fra hinanden langs de midtoceaniske rygge. De store jordskælv udløses, hvor to plader støder sammen eller glider langs med hinanden langs en uregelmæssig pladerand. Hvis pladesammenstødet sker under havet kan jordskælvene udløse enorme tsunamier – hvis det sker på land kan byer lægges øde.

Den fundamentale teori

Pladeteknikken står i dag som den fundamentale teori inden for geovidenskaberne. I praktisk geologi har pladeteknikken haft stor betydning for forståelsen for forekomst og dannelse af stort set alle mineraliske råstoffer, olie og naturgas. Og de pladetektoniske processer kontrollerer havstrømme og klima, jordskælv og vulkanisme, og er dermed baggrunden for alt liv på jorden. ■

Jordens yderste lag



© Dis og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS).

Principskitse af pladeteknik. I spredningszonen dannes ny oceanbund. Den store litosfæreplade med oceanbunden synker ned i Jordens kappe under kontinentet til venstre. Herved sker en delvis opsmeltning af den nedsinkende litosfære, som bl.a. fører til vulkanisme på overfladen. Til sidst vil de to kontinenter kollideres, hvorved en bjergkæde vil blive dannet.

Jordens yderste lag – Litosfæren – er brudt op i syv store plader og et antal mindre. Grænserne mellem pladerne kan være af to forskellige typer. Den ene type finder man ved de midtoceaniske rygge, hvor der tilføres nyt vulkansk materiale og ny oceanbundsplade dannes. Her bevæger pladerne sig væk fra hinanden. Den anden type grænse finder man, hvor plader støder sammen, og den ene plade skydes ned under den anden – f.eks. i Stillehavet ved Japan. Disse zoner kaldes "subduktionszoner" eller "ned-

synkningszoner". Når den dykkende plade er nået langt nok ned i Jorden vil den begynde at smelte, og den smeltede bjergart stiger op mod overfladen. Det er derfor, der findes vulkanske bjergkæder i tilknytning til disse zoner ligesom, der sker mange og store jordskælv. Havbundens dybgrave som Marianergraven, der ligger i Stillehavet nær Filippinerne, opstår også i forbindelse med sådanne subduktionszoner.

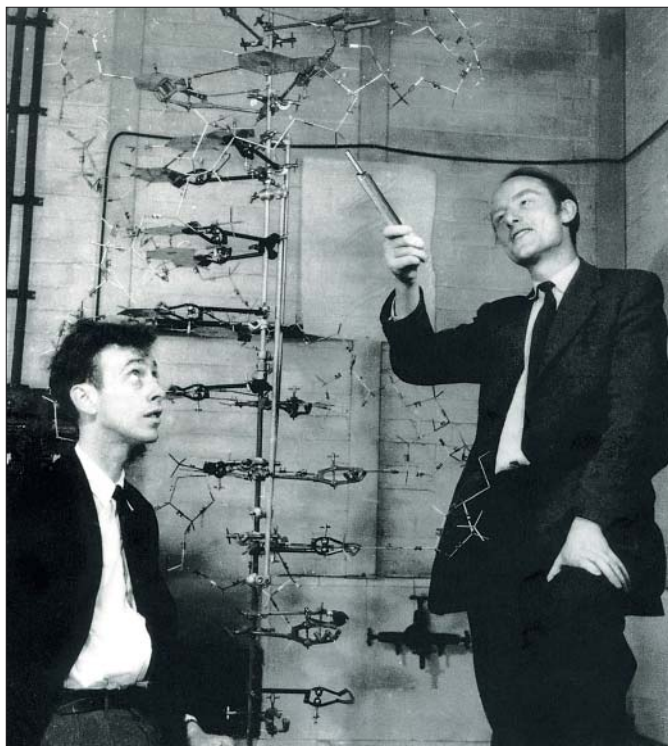
Kontinenterne består af lettere materiale end de tunge oceanbundsplader, og derfor

vil de vedblive med at "flyde ovenpå", selvom oceanbundspladerne skydes ned under hinanden. Derfor kan det også ske, at to kontinenter med tiden støder sammen – og hvor dette sker presses de vældige bjergkæder som Himalaya og Alperne op. At kontinenterne flyder ovenpå betyder også, at de er meget ældre end oceanbunden. Den ældste oceanbund er således kun ca. 200 millioner år gammel, mens flere kontinenter har en kerne, der er mere end 3 milliarder år gammel.

DNA-dobbeltspiralen

Klarlæggelsen af DNA-molekylets struktur i 1953 var et højdepunkt i genetikkens udvikling, og åbnede op for et helt nyt fagområde: molekylærbiologien.

Ingen kunne have forudset den kolossale indflydelse denne erkendelse ville få på videnskaben og samfundet.



Cavendish-laboratoriet lørdag den 22. februar 1953. Watson (til venstre) og Crick med deres model af DNA-strukturen.

Af Peter K.A. Jensen

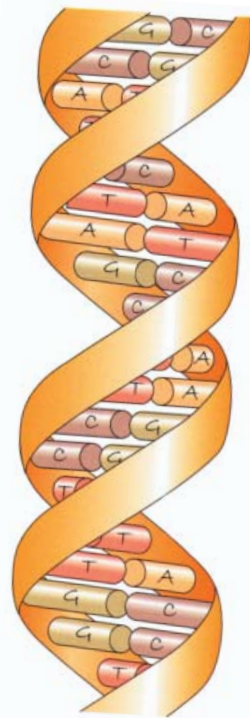
■ Livets hemmelighed blev afsløret lørdag formiddag den 28. februar 1953 i Cavendish laboratoriet i Cambridge, England. Den formiddag faldt de sidste brikker på plads for amerikaneren James D. Watson (1928-) og englænderen Francis Crick (1916-2004), og de kunne offentliggøre deres model af DNA-molekylets struktur, en

dobbeltspiral – den senere så berømte Watson-Crick model, der betegnede et klimaks i genetikkens udvikling.

Svar på biologiens ældste mysterier

En vigtig egenskab ved Watson-Crick modellen er, at den umiddelbart giver svar på to af biologiens ældste mysterier: Hvordan

DNA-dobbeltspiralen. I 1962 modtog Francis Crick, James Watson samt Maurice Wilkins Nobelprisen i medicin for opdagelsen af DNA-molekylet.



arvelig information er lagret, og hvordan den bliver kopieret. DNA-molekylet er nøglen til naturen af alle levende ting. Det lagrer den arvelige information, der videregives fra én generation til den næste, og det dirigerer cellens ufattelig komplicerede verden. DNA-molekylet rummer med Cricks ord selve hemmeligheden om livet.

Watson-Crick modellen gør en ende på en debat, der er lige så gammel som menneskeheden: Har livet en eller anden magisk eller mystisk essens, eller er det et produkt af normale fysiske og kemiske processer? Er der ved cellen noget iboende guddommeligt, der gør den levende? Watson-Crick modellen besvarede dette spørgsmål med et definitivt nej.

Charles Darwins (1809-1882) evolutionsteori om naturlig udvælgelse, der blev offentliggjort i 1859, viste hvordan alle livsformer er beslægtede, og det

var et stort skridt fremad i vores forståelse af verden i materialistiske (fysisk-kemiske) termer. Ligeså var de gennembrud, som biologerne Theodor Schwann (1810-1882) og Louis Pasteur (1822-1895) skabte i anden halvdel af det 19. århundrede: Deres forsøg viste, at råddent kød ikke spontant kunne give ophav til liv (i dette tilfælde maddikere). Almindelige biologiske fænomener, i dette tilfælde æglæggende fluer, var ansvarlige for maddikerne. Den ældgamle idé om spontan skabelse var død.

Liv – et spørgsmål om kemiske processer

På trods af det ovenstående trivedes forskellige former af vitalisme – troen på at fysisk-kemiske processer ikke alene kan forklare livsprocesserne – i bedste velgående i 2. halvdel af 1800-tallet. Selv mange biologer, der ikke uden videre kunne acceptere naturlig udvælgelse

som alene bestemmende for opståelsen af evolutionære linier, opererede med en dårlig defineret overordnet spirituel kraft, der var ansvarlig for de forskellige livsformer.

Derfor var Watson-Crick modellen så vigtig. Den bragte klarhed over, hvordan en celle fungerer. Den intellektuelle rejse, der var begyndt med Kopernicus (1473-1543), der fjernede mennesket fra Universets centrum, og som fortsatte med Darwins påstand om, at mennesker blot er modificerede aber, havde endelig fokuseret ind på selve livets essens. Og der var intet specielt ved det. Dobbeltspiralen er en elegant struktur, men dens budskab er fuldstændig prosaisk: Livet er ganske enkelt et spørgsmål om kemiske processer.

Ingen kunne have forudset den kolossale indvirkning af Watson-Crick modellen på videnskaben og samfundet. Indlejret i molekylets yndefulde kurver ligger nøglen til livets hemmelig og til en helt ny videnskab, molekylærbiologien, der over de efterfølgende 50 år har givet os en forbløffende række af indsigter i fundamentale biologiske processer. Ligeså betydningsfuld har indvirkningen været på lægevidenskaben, fødevarerproduktionen og på retssystemet. DNA er ikke længere noget, der kun interesserer hvidklædte forskere i obskure universitetslaboratorier; det vedkommer os alle.

At læse "livets bog"

Menneskets arvemasse (det humane genom) rummer nøglen til at forstå, hvorfor vi er mennesker. Det er så at sige "Livets Bog". Det befrugtede æg fra et menneske og en chimpans er, i det mindste fra en overfladisk betragtning, fuldstændig ens. Men det ene æg indeholder menneskets arvemasse og det andet chimpansens arvemasse. I hvert af de to befrugtede æg er det DNA-molekylerne, der er ansvarlige for den helt ekstraordinære transformation fra en enkelt, relativ simpel celle til det ekstremt komplekse

voksne individ, der for menneskets vedkommende består af 100.000.000.000.000 celler. Men kun chimpansegenomet kan lave en chimpans, og kun menneskegenomet kan lave et menneske.

Vores forståelse af DNA er kommet et langt stykke fra den lørdag formiddag i Cambridge. Men der er lang vej igen: Det genetiske grundlag for mange af de "store folkesygdomme"

(sukkersyge, åreforkalkning, forhøjet blodtryk, skizofreni m.fl.) er endnu i det store og hele ukendt; kræft er stadig i vidt omfang en uhelbredelig sygdom; effektiv genterapi er endnu ikke udviklet; rekombinant DNA-teknologi mangler endnu at vise sit fulde potentiale til at forbedre vore fødevarer. Men alle disse ting vil med sikkerhed komme i tiden fremover. ■

Om forfatteren

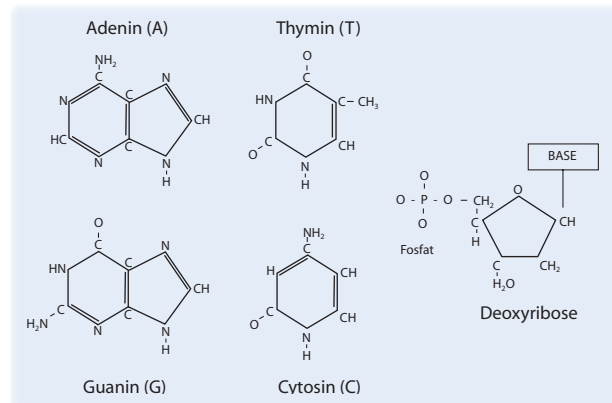


Peter K.A. Jensen er adm. overlæge og speciallæge i klinisk genetik
E-mail: pkaj@dadmnet.dk

Opbygningen af DNA

DNA er en nukleinsyre, dvs. et lineært molekyle opbygget af nukleotider. Nukleotidet er et lille molekyle sammensat af tre komponenter: En pentose (kulhydrat med fem kulstofatomer, deoxyribose i DNA); en fosfatgruppe; og en kvælstofholdig base. DNA indeholder baserne adenin (A), guanin (G), cytosin (C) og thymin (T). Det er baserne, der adskiller nukleotiderne fra hinanden, og det er derfor sædvanen at referere til de forskellige nukleotider ved bogstavforkortelserne for baserne (A, T, G, C).

Det lineære DNA-molekyle dannes ved sammenkædning af nukleotider, hvor hvert nukleotid forbindes til den næste via en fosfatgruppe. Herved dannes der en lang kæde af nukleotider (en polynukleotidkæde), der for DNA's vedkommende kan være hundreder af millioner af nukleotider lang. Den genetiske information er lagret på digital måde i DNA-molekylerne i form af disse lange sekvenser af nukleotider, hvor det er rækkefølgen af baserne, der definerer



Den kemiske struktur af de fire baser, der indgår i DNA. Adenin og Guanin har en dobbeltringsstruktur, mens Cytosin og Thymin har en enkeltringsstruktur. Til højre ses den kemiske struktur af et nukleotid.

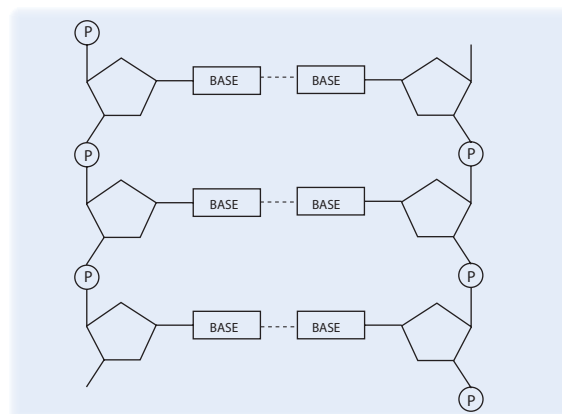
rer den genetiske information.

Rækkefølgen af nukleotider i DNA-molekyler kender ingen begrænsninger. På et hvilket som helst sted i kæden kan basen være A, G, C eller T. Antallet af forskellige kombinationer (sekvenser) af en kæde med kun 10 nukleotider bliver eksempelvis $4^{10} = 1.048.576$, og hvis man i stedet forestiller sig

en polynukleotidkæde sammensat af 1.000 eller 1.000.000 nukleotider, bliver kombinationsmulighederne astronomiske. Det er denne variation i DNA-molekylet, der bevirker, at det genetiske materiale kan eksistere i et næsten ubegrænset antal varianter.

Den naturlige tilstandsform for DNA er en dobbeltspiral, dannet af to polynukleotidkæder, der er snoet omkring hinanden. Dannelsen af dobbeltspiralen sker spontant, når polynukleotidkæderne er dannet.

Der er et komplementært forhold mellem baserne således, at A altid sidder overfor T og G altid sidder overfor C. Denne baseparingsregel er en fundamental egenskab ved nukleinsyrer og er grundlaget for, at et dobbeltkædet DNA-molekyle kan danne en præcis kopi af sig selv: Først adskilles de to kæder og derefter dannes to nye komplementære kæder med de gamle kæder som skabeloner. Denne kopieringsproces, der kaldes for DNA-replikation, går forud for hver celledeling og sikrer, at en nøjagtig kopi af modercellens DNA overføres til hver af de to nye celler.



DNA's kemiske opbygning. DNA-spiralens to kæder holdes sammen af svage kemiske bindinger mellem baserne. Kædens ryggrad er opbygget af alternerende fosfat- og kulhydratmolekyler, mens "trinene" dannes af baserne fra de to kæder.

Galathea-3

Nedtællingen til Galathea3-ekspeditionen er for alvor begyndt. Den 11. august stævner "Vædderen" ud fra København for at påbegynde sin Jordomrejse. Til lejligheden er skibet blevet ombygget fra et inspektionsskib til en flydende forskningsplatform, der skal huse en lang række forskere og deres udstyr samt besætning og andet godtfolk, der skal med på den godt og vel otte måneder lange rejse. I alt skal Vædderen tilbagelægge omkring 39.000 sømil før den er tilbage ved kaj i København igen i slutningen af april måned 2007.

Forskningsprojekter

Oprindeligt blev 69 forskningsprojekter udvalgt til at deltage i ekspeditionen. Siden er fire af projekterne faldet fra enten på grund af manglende finansiering, eller fordi det i marts måned blev besluttet at ændre ruten i kølvandet på Muhammed-krisen. Ikke alle af de resterende 65 projekter – hvoraf ca. halvdelen er "landbaserede" og den anden halvdel havforskningsprojekter – er i skrivende stund fuldt finansierede. Der skal derfor stadig rejses midler, hvis alle projekterne skal gennemføres i fuld skala, ligesom der også skal rejses midler til efterbehandlingen af den omfattende mængde data, der ventes indsamlet på ekspeditionen.

Formidling i højsædet

Ideen til Galathea-3 ekspeditionen blev født af chefredaktør Henrik Thosen, Jyllands-Posten, og således har formidlingen fra start været en af de bærende ideer bag projektet. Det Berlingske Officin, Morgenavisen Jyllands-Posten samt Politiken, som er gået sammen med TV2 Vejret, dækker ekspeditionen fra start til slut, mens ugebladet Ingeniøren deltager på udvalgte dele af togtet.

De deltagende medier har udover plads til egne journalister, kunnet disponere over et antal pladser, som er blevet udloddet i konkurrencer.

Aktuel Naturvidenskab og Galathea

Aktuel Naturvidenskab bidrager med artikler til Jyllands-Postens Galatheaportal under punktet undervisning. Så alt er efterhånden kørt i stilling til årets videnskabsmediebegivenhed!

CRK,

Mere information om Galathea:

www.Galthea3.dk
 JPs Galathea-portal: www.galathea.dk eller www.galathea.nu
 Politikens Galatheatema: www.Politiken.dk/galathea
 http://vejret.tv2.dk/galathea/

Mus bryder arvelighedslove

DNA har længe været anset for at være arvelighedens enevældige hersker. Ny forskning peger imidlertid på, at dets mindre kendte fætter, RNA, hvis rolle tidligere er blevet anset for udelukkende at medvirke til dannelsen af protein som dikteret af den genetiske kode - i sig selv er i stand til at videregive karaktertræk gennem generationerne.

For 50 år siden blev det observeret, at de faktorer, der kontrollerer mængden af lilla farve i visse majs-kerner, afveg fra de kendte genetiske love. Genetiske varianter af majs, der burde være udrenset fra avlslinierne, kunne nogle gange alligevel præge efterfølgende generationer med deres lilla-farvende effekt. Fænomenet blev døbt paramutation, men forblev uforklaret.

Nu har en gruppe forskere i Frankrig observeret et tilsvarende fænomen ved eksperimenter med mus. En bestemt mutation i det såkaldte *Kit*-gen er kendt for at give brune mus hvide halespidser. Forskerne parrede mus, hvor den ene havde en normal og en muteret kopi af genet, mens den anden havde to normale kopier. Hvis en mus arver to normale kopier af genet, burde den ikke få hvid halespids. Men forskerne fandt ikke desto mindre, at en stor del af de mus, der havde arvet to normale kopier af genet, alligevel fik hvide halespidser.

Disse mus havde endvidere et højt indhold af afvigende RNA, der matchede forskellige dele af det normale RNA, der blev dannet fra *Kit*-genet. Specielt var det bemærkelsesværdigt, at forstadier til sædceller hos hanmusene indeholdt sådant afvigende RNA, og hanmusenes sæd havde et usædvanligt højt indhold af RNA. Det er derfor muligt, at dette RNA overføres til næste generation, selvom den variant af genet, fra hvilken de er kopieret, ikke selv føres videre.

Forskerne testede denne hypotese ved at sprøjte RNA fra væv, der indeholdt det afvigende *Kit*-RNA, ind i befrugtede museæg, hvilket gav sig udslag i, at næsten halvdelen af det producerede afkom, havde hvide halespidser – og de hvide halespidser blev igen givet videre til disse mus' afkom. Injektion af RNA, der nedbryder *Kit*-RNA, havde samme effekt. Kontrolmus viste også lejlighedsvist hvide halespidser, men de gav kun sjældent dette træk videre til deres afkom.

Den præcise mekanisme, hvormed RNA overfører det karakteristiske træk til efterkommere, når det bagvedliggende gen ikke selv er til stede, er stadig ikke afklaret. Forskernes opdagelse sætter yderligere fokus på RNAs rolle i organismen.

Kilde: Nature vol. 441, p.469-474 samt p413

Unge forskere 2006



Foto: Thomas Juul/Tilsted.Com

20-årige Mette Gade Hyldgaard, 3 g på Vestfyns Gymnasium, vandt en førstepræmie for hendes projekt studier af membraner, som hun her fortæller om til H.K.H. Prins Joachim

I slutningen af april måned blev vinderne af konkurrencen Unge Forskere udpeget. Årets konkurrence var den hidtil mest omfattende, idet der var flere deltagere, flere projekter, flere konkurrencer og flere præmier. I år havde i alt 1227 børn og unge tilmeldt 607 projekter, og ifølge Komiteen for unge forskere, var kvaliteten af projekterne højere end nogensinde. Finalen blev afholdt på Danfoss Universe den 24. april, hvor 20 projekter var kommet gennem nåleøjet, fordelt på kategorierne *Natur&Teknik* og *Unge Forskere* og *Opfindere*. Desuden deltog 37 projekter i den nye kategori: *Min vildeste ide*. Projekterne spændte vidt – lige fra sikring af fødevarer sikkerheden i den tredje verden over forbedrede og billige muligheder for at skaffe rent drikkevand til forbedring af dyrevelfærden i Danmark kombineret med en bedre økonomi i landbruget. Præmierne blev overrakt af Hans Kongelige Højhed Prins Joachim sammen med komitéens formand, Jørgen M. Clausen, og næstformand, professor Peter Mose Larsen.

Udover projekterne var der præmier til de to bedste skoler, mens de bedste lærere blev præmieret med rejseløgater til et naturvidenskabeligt formål. Læs mere om konkurrencen og om årets vinderprojekter på www.unge-forskere.dk

CRK

Der er varmt på bunden

Tyske forskere har målt den hidtil højeste temperatur i en varm kilde på havbunden – et såkaldt *hydrothermalt væld* – hvor overophedet vand fyldt med opløste mineraler strømmer ud på grund af vulkansk aktivitet i undergrunden.

Ved hjælp af en robot-ubåd kunne forskerne måle 407 grader celsius i et sådant hydrothermalt væld på en dybde af 3000 meter. Vældet findes i tilknytning til den midtatlantiske ryg, der er en vældig undersøisk kæde af vulkaner, der strækker sig gennem Atlanterhavet fra Grønlandshavet i nord til Bouvetøya i syd.

Selvom den målte temperatur kun er 5 grader højere end den hidtidige rekord målt ved en tilsvarende struktur i Stillehavet, er forskellen stor nok til at være videnskabelig interessant. Trykket og temperaturen er nemlig tilstrækkelig høj til at gøre vandet til en "superkritisk væske" – en speciel tilstand, hvor det er en blanding af væske og gas. Forskerne håber at lære mere om de elementer, der findes opløst i denne mixtur.



Foto: NASA

Et hydrothermalt væld (en såkaldt "ryger" – på engelsk *Black Smoker*).

CRK, Kilde: *Nature* vol. 441, p.563

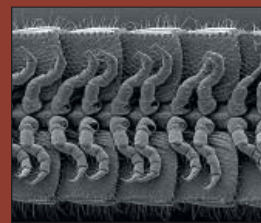
Et rigtigt tusindben

Der findes mere end 10.000 arter af tusindben (videnskabeligt *Diplodoca*), som er en af de ældste grupper af landlevende dyr. I denne brogede flok er arten *Illacme plenipes* det tætteste, man kommer på et "rigtigt" tusindben. Således havde det eksemplar, der oprindeligt blev beskrevet i 1926, hele 750 ben.

I de 80 år, der siden er gået, har ingen tilsyneladende set noget til kræet. Men nu har de amerikanske biologer Paul E. Marek og Jason E. Bond genopdaget denne ekstremt sjældne art på en lille lokalitet med en udstrækning på kun 0,8 kvadratkilometer i San Benito County i Californien. Forskerne har indsamlet i alt 12 eksemplarer af arten, hvoraf de største havde 666 ben – knap hundrede ben færre end det oprindelige "rekordeksemplar".

Tusindben er bygget op af en masse led, hvorpå der sidder et antal benpar – og de vokser ved at føje nye led til kroppen. Denne vækst kan hos nogle tusindben fortsætte også efter at de er kønsmodne, således at de kan opnå i princippet et ubegrænset antal ben. På grund af moderne teknik – som elektronmikroskopi – kunne forskerne give en detaljeret beskrivelse af de finere detaljer på arten, som har vist sig overraskende kompliceret. Der kendes andre arter af nærtbeslægtede – og ligeledes meget sjældne arter af tusindben – som kun kendes fra meget begrænsede geografiske områder (dvs. arterne er endemiske). Disse områder er alle kendt som såkaldte "hot spots" for biodiversitet, hvilket understreger disse områders unikke status som gemmesteder for sjældne arter og behovet for at bevare dem.

CRK, Kilde: *Nature* vol. 441, p. 707



662 ben har dette eksemplar af *Illacme plenipes*.

Kæmpekrater under Antarktis

Forskere har fundet hvad de mener er et kæmpemæssigt krater fra et meteoritnedslag ca. 1,5 km. under iskappen i det østlige Antarktis. Strukturen er omkring 480 km i diameter og befinder sig i geologiske lag, der tidsmæssigt hører til omkring grænsen mellem de to tidsperioder, der kaldes Perm og Trias for ca. 250 millioner år siden. På dette tidspunkt fandt den største kendte masseuddøen i Jordens historie sted. Man mener, at omkring 95 % af alle havlevende arter forsvandt og en tilsvarende massiv uddøen fandt sted blandt datidens landlevende organismer.

Fundet af den store kraterstruktur, der er blevet afsløret ved hjælp af NASAs GRACE-satellit, der måler variationer i Jordens tyngdekraft, giver fornyet næring til den hypotese, at det var et katastrofalt meteoritnedslag, der var årsagen til den store masseuddøen.

Det er dog ikke første gang, at en geologisk struktur udpeges som den mulige rygende revolver til den store Perm-Trias-uddøen, idet en struktur kaldet Bedout High ud for Australiens Nordvestkyst også er blevet tolket som et (dog noget mindre) meteoritkrater af den rette alder.

Hvis det virkelig er en meteorit, der har lavet det store krater under Antarktis, så har denne været meget større end den meteorit, man mener ramte Jorden for 65 millioner år siden, hvor dinosaurerne og en lang række andre væsner uddøde. På Yucatanhalvøen har man fundet en ca. 180 km stor begravet struktur, som er det bedste bud på et direkte aftryk efter denne begivenhed. Krateret under Antarktis er der-

Målinger af variationer i tyngdekraften under det østlige Antarktis. De rødlige områder angiver områder med højere vægtylde. Placeringen af kraterstrukturen er angivet med en cirkel.

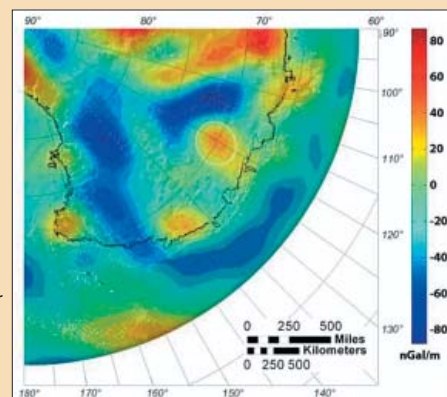


Illustration: Ohio State University.

med mere end dobbelt så stort. Det skal dog retfærdighedsvist siges, at tolkninger af sådanne strukturer som værende meteoritkrater altid vil være omgærdet af usikkerhed, og det er således også en mulighed, at de store episoder af uddøen har skyldtes mere jordnære katastrofer som vulkanudbrud eller klimaforandringer.

CRK, Kilde: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/5045024.stm>

Naturen i Danmark

- skrevet af forskerne

Næsten 100 forskere i biologi, geologi og økologi investerer 10 årsværk

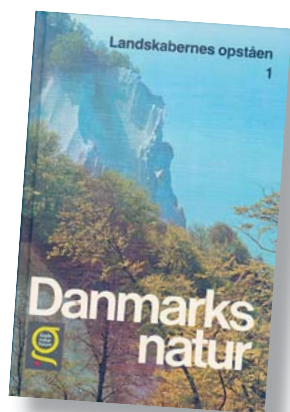
i at skrive storværket *Naturen i Danmark* på Gyldendal.

Hvorfor passer de ikke bare deres forskning og undervisning?

Af Kaj Sand-Jensen

■ Hver generation af danskere har behov for nationale værker om større emner, der samler den sidste nye viden op og fremstiller den med de forbedringer i fortællestil og illustrationer, der er udviklet med tiden. Sådan er det med Danmarks natur, oldtid og nyere historie og sådan er det med kulturelle emner om film, litteratur og billedkunst. Kun i et værk med sin egen generations stil og fokus kan man opnå den nødvendige indlevelen og fællesskabsfølelse over for nationens arvegods.

Det er da også baggrunden for, at næsten 100 danske forskere inden for især biologi og geologi tilsammen har brugt omkring 10 årsværk til at skrive værket om *Naturen i Danmark*. Vi skal nemlig næsten 40 år tilbage for at finde det foregående samlede værk på området, *Danmarks Natur*, der fra 1967 til 1974 udkom i 12 bind. Dengang var informationerne begrænsede, internettet endnu ikke opfundet, og der var



så chancen for at læse om alle blomsterne, dyrene og naturtyperne.

Da jeg begyndte at studere biologi i 1969, var *Danmarks Natur* den fælles reference for forståelse og diskussioner blandt alle seriøse studenter og lærere, også selv om teksten efter min smag var for beskrivende og lagde for lidt vægt på større sammenhænge. Værket solgte i 50 tusinde eksemplarer og det øgede massivt kendskabet til

Danmarks natur både i befolkningen og blandt studenterne i biologi og geologi.

Meget er forandret i løbet af de efterfølgende 40 år. Naturbilledet er ændret, nogle arter er gået frem og mange tilbage, naturen har fået mindre plads og spillerum og vi har gjort nye opdagelser. Vi kan nu meget bedre forstå samspillet mellem arterne, forklare de kræfter, der skabte landskaberne og udpege synderen bag nutidige naturodelæggelser.

Derfor har det længe været påkrævet at skabe det splinternye opdaterede værk, *Naturen i Danmark*, som nu kommer i fem bind om henholdsvis *Havet*, *Geologien*, *Det åbne land*, *Skoven* og *De ferske vande*. Det er den største formidlingsmæssige satsning på området i vores generation.

Et nyt fokus

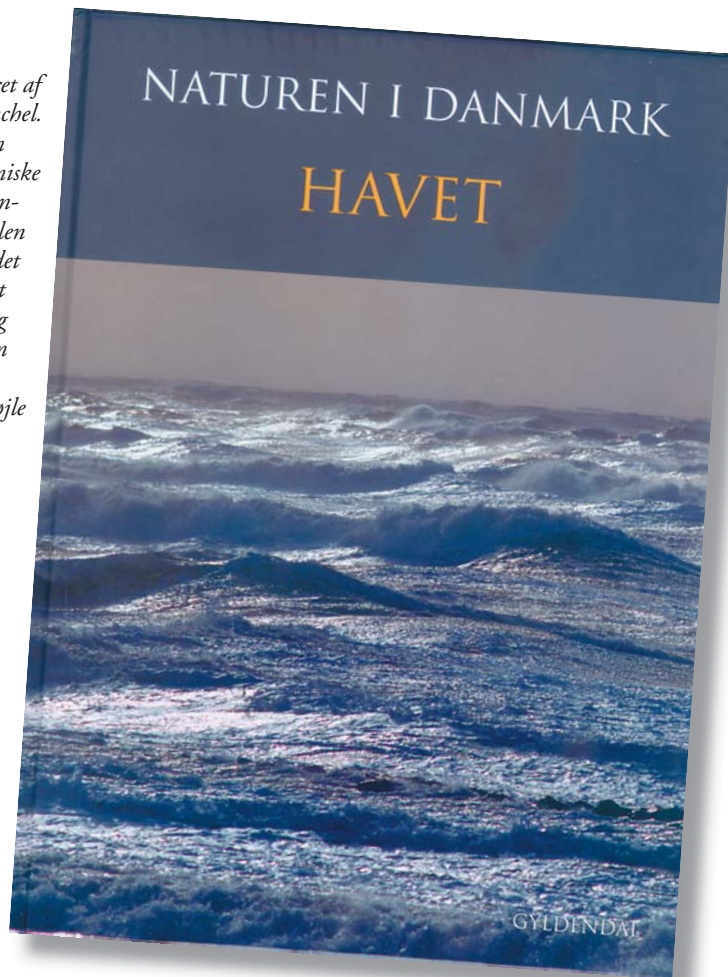
Med bogværket ønsker vi at fortælle det sidste nye om arternes biologi og forklare de økologi-

ske samspil indbyrdes mellem arterne og mellem arterne og miljøet. Tillige inddrages alle de måder, som mennesket påvirker naturen på. Indsigten dækker også de kræfter, der skabte den danske undergrund og landskaberne, så vi kan genkende fortiden i nutidslandskabet, når vi ser ned på Silkeborgsøerne fra toppen af Himmelbjerget eller står under Møns Klint og ser op på Kongestolen.

Den historiske dimension inddrager naturen på vores oldeforældres tid og sætter en ramme for, hvad vi har mistet og hvad vi realistisk kan stræbe efter i fremtiden. For Danmarks natur er efterhånden i overvejende grad blevet kultur, altså menneskeværk i større eller mindre grad. Heri ligger både mulighederne og forpligtelsen. Hvis vi vil, kan vi nemlig aktivt forbedre naturen og skabe bedre rammer for store oplevelser. Før 1920 skød vi alle ørne, ravne og svaner bort – nu kan vi glædes

Bind 1: "Havet" er redigeret af professor, dr.phil. Tom Fenichel. Her kan man bl.a. læse om havområdernes fysiske-kemiske forhold og om dyre- og plantelivet. Om livet i vandsøjlen og på havbunden – både det mikroskopiske og det meget store. Om havets betydning for Jordens stofkredsløb, om menneskets udnyttelse af havet og om forsøg på at tøjle havets kræfter.

Indbundet, 516 sider.
ISBN: 8702030268.
Gyldendal 2006.
Pris 699,- kr.
i subscription 599,-kr.



Om forfatteren



Kaj Sand-Jensen er hovedredaktør på værket: "Naturen i Danmark" og er professor ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
Tlf.: 3532 1905
E-mail: KSandJensen@bi.ku.dk

over, at de er vendt tilbage. I 1960'erne afvandede Hedeselskabet Skjernås enge – nu kan lokale Skjernboere og skeptiske bønder glædes over økonomiske gevinster og stolt berette, at fiskene, fuglene og købestærke turister er vendt tilbage til de genoprettede enge.

Oplevelsen og spændingen ved at færdes i naturen og landskabet er den store følelsesmæssige drivkraft, som man må dyrke alene eller i selskab med andre med samme interesse for landskaber, fossiler, fugle, blomster, jagt, fiskeri eller fodture. Men selv om man selv må opsøge oplevelserne, kan man godt blive stimuleret til turen og skærpe sin opmærksomhed ved på forhånd at have læst om, hvordan de ytrer sig og hvor de bedst kan efterses.

Hvorfor have besværet?

Værkets skribenter er selvbevidste optimister. Selvbevidste, fordi vi mener, at mange års studier af emnet, gør os specielt

egnede til at fortælle om de vigtige sammenhænge i naturen, skelne mellem genialiteter og trivialiteter og fortælle, hvad der er reel ny viden og hvad der bare kan synes sådan, fordi man ikke ved bedre. Derfor vil vi ikke helt overlade emnet til professionelle skriverkarle.

Optimister er vi, fordi vi er indstillet på at ofre tid og kræfter på at formidle om natur og naturlige sammenhænge, selv om emnet i den grad har været nedprioriteret i skolen, på folkebibliotekerne og i medierne og det fortsat er umådelig svært at få plads og ørenlyd.

I sidste instans kan en sådan jætteindsats kun blive en succes, hvis værket når et stort publikum. Skal det mål opfyldes, er omtale vigtig. Naturvidenskaberne har måttet erkende, at for dem kommer omtale ikke af sig selv, på trods af, at man har Gyldendal, Danmarks største forlag, i ryggen. Da første bind af værket, *Havet* udkom i maj, var fokus i stedet på en fuld-

stændig uinteressant og pinlig privat bog om Jens Otto Krag.

Så hvis I skulle være i tvivl, så er det forsat kulturpaverne, der helt og aldeles behersker mediernes bogsider og hvis indifferens man er oppe imod.

Svært er det og sikkerhed for succes findes ikke, men mit råd til andre i tilsvarende situation vil lyde: Dyrk dine netværk, opsøg lokale medier og tilbyd en god historie til alle interesserede. De bredt interesserede er snart alle sammen mænd over de halvtreds, der læste Danmarks Natur for 30-40 år siden, så en ny generation skal vindes for sagen.

Har vi monstro tabt de yngre generationer på gulvet? Er vi kommet for sent med opdateringen? Det må tiden vise. Brug festiviteten ved sådanne udgivelser til at byde de yngre generationer på vin, pindemadder og konkrete fortællinger – så må vi se, om de griber chancen for både at blive underholdt og klogere. ■

Naturen i Danmark (hovedredaktør Kaj Sand-Jensen), Gyldendal. "Havet" udkom i maj, "Geologien" udkommer i august, "Det åbne land", "Skoven" og "De ferske vande" følger. Værket forventes at være komplet i efteråret 2007.



Dansk flora

Dansk flora er den første moderne, videnskabeligt baserede danske flora, der publiceres i 25 år. Bogen omfatter alle vildtvoksende eller tilsyneladende vildtvoksende planter i det danske landskab. Tilfældigt indslæbte, ikke naturaliserede planter er ikke medtaget, og af dyrkede planter er kun medtaget de vigtigste afgrøder.

Signe Frederiksen, Finn N. Rasmussen og Ole Seberg (red.) Dansk Flora. Gyldendal 2006. 704 sider, 499,- kr.



Når Jorden går amok

Videnskabsjournalisten Lars Henrik Aagaard har bedrevet en omfattende bog om de mest dødbringende og destruktive katastrofer, som vor klode har udløst gennem tiderne. Bogen handler om jordskælv, tsunamier, vulkanudbrud og orkaner, og beretter om de voldsomste begivenheder gennem tiden og om mekanismerne bag.

Lars Henrik Aagaard: Når Jorden går amok. Jyllands-Postens Forlag 2006. 256 sider, 269,- kr.

Spørg Århus, hvis De vil vide mere!

- Dansk Naturvidenskabs Historie - bind 3 og 4.

Anmeldt af Carl Erik Sølborg, lektor, lic.techn., Aalborg Universitet.

■ De gode takter fra bind 1 og 2 fortsætter i de to afsluttende bind af *Dansk Naturvidenskabs Historie* (DNH). Bindenes appetitvækkende titler er *Lys over landet* og *Viden uden grænser*, og de dækker tidsrummene 1870-1920 og 1920-1970. I det tredje bind glæder befolkningen sig over de lettelser, som de revolutionerende opdagelser og opfindelser fører med sig, og i det fjerde ender udviklingen med, at folk ønsker, at videnskaben holder op med at hitte på flere ting, da det bare vil føre flere farer og skader med sig. Vi får altså befolkningens holdning til naturvidenskaben præsenteret.

De naturvidenskabelige institutioners opbygningsplaner og deres realisation bliver behandlet. Det gælder f.eks. Risøs og med særlig omhu naturvidenskabens opbygning på Aarhus Universitet. Vi får kendskab til de personer, der skaber miljøet, hvori den naturvidenskabelige forskning foregår. Der kan i flæng nævnes Japetus Stenstrup, Niels Bohr, Strømgreen'erne og August Krogh.

Naturvidenskabens popularisering på skrift og i æteren behandles. Det er dejligt nostalgisk at blive mindet om sin barndoms helte: Paul Bergsøe og Ingvald Lieberkind. Og ja, også programmet *Spørg Århus* genopfriskes med blandt andre den lærde Olaf Pedersen repræsenterende de eksakte videnskaber. Skolens undervisning i naturvidenskab gennemgås, og Mogens Pihls bestræbelser på at styrke den teoretiske tilgang til fysikken omtales. Disse bestræ-

belser lykkes efter anmelderens erfaring alt for godt, idet det faglige niveau bliver sat så højt, at den efterfølgende reaktion giver plads for fysikbøger af en langt mindre lødighed.

De enkelte kapitler er skrevet af fagfolk i de omhandlede fagområder. Det har den interessante konsekvens, at fagets egenart afspejles i den måde, forfatteren behandler sine emner på. Man får således indirekte fagets karakteristika udtrykt via forfatterens pen; matematik beskrives knapt og præcist, mens naturhistorie behandles causerende. Vi indføres f.eks. her i de evige, interne stridigheder blandt intrigante professorer. Personlige stridigheder, der synes at skade det videnskabelige arbejde.

Personalhistorie indtager en stor plads i værket. Vi får nævnt et utal af personnavne; både kendte og ukendte. Ofte drejer det sig dog om personligheder med et interessant liv, og det er spændende læsning. Det fremhæves i forordet til sidste bind, at der ikke kræves specielle for-kundskaber af naturvidenska-

belig art for at læse det. Dette får derfor som konsekvens, at behandlingen af selve naturvidenskaben efter min opfattelse får en meget tilbagetrukket placering.

I DNH berettes der meget om ydre forhold vedrørende videnskabsmændenes aktiviteter, men ikke så meget om, hvad deres arbejde går ud på. Hvis det må være tilladt med et lille hjertesuk fra smagsdommeren, så ville det have været spændende med en nærmere forklaring af Lorenz' fænomenologiske elektrodynamiske teori, Bohrs oprindelige fremstilling af sin atommodel, Pihls brud med den eksperimentelle tilgang til fysikken etc. Disse og lignende forhold, nogle ville måske kalde dem nørdede specialiteter, ville nok interessere mange fagfolk, men desværre nok også frastøde mange ikke-fagfolk. For at advare mod de steder i bøgerne, hvor det videnskabelige indhold forekommer, kunne man anvende de fra moderne lærebøger kendte fakta-bokse eller bringe det i særlige, med dødningeho-



ved markerede kapitler. At stof-fet ikke er medtaget i værket, føler undertegnede som et stort savn. Vi ved fra andre publikationer, at Århus-folkene ville kunne skrive om selve materien, så derfor vil jeg give de nysgerige med de specielle ønsker rådet: meld Dem til Folkeuniversitetets udbudte foredrag om

slige sager og ”Spørg Århus, hvis De vil vide mere!”

Bortset fra dette hjertesuk er det mig magtpåliggende at understrege, at DNH er et omfattende og omhyggeligt gennemarbejdet værk, som bør være inden for rækkevidde for alle, der interesserer sig for naturvidenskabens forhold i Danmark.

Dansk Naturvidenskabs Historie: Bind 3 – Lys over land, redaktør Peter C. Kjærgaard, 480 sider. Bind 4 – Viden uden grænser, redaktører Henry Nielsen og Kristian Hvidtfelt Nielsen, 480 sider. Aarhus Universitetsforlag 2006. Alle fire bind i serien kan fås for 1500 kr. ellers 500,- kr./bind. ■

Röntgen og de mystiske stråler Hertz og de elektromagnetiske bølger Meitner og spaltningen af uran

Anmeldt af Peter C. Kjærgaard, lektor,
Institut for Idehistorie, Aarhus Universitet

■ Naturvidenskab er ingenting uden naturvidenskabsfolk. Eksperimenter kan ikke udføre sig selv. Ideer kan ikke udvikle sig selv. Traditioner og institutioner kan ikke opbygge sig selv. Det ved vi selvfølgelig godt. Men for mange er det også gennem naturvidenskabens personer, at historien bliver levende. Når vi lærer folkene bag opdagelserne, teorierne og eksperimenterne at kende, bliver videnskaben vedkommende på en anden måde. Vi er fascinerede af den personlige historie, af mennesket bag videnskaben. Det er en af grundene til, at biografien er den mest udbredte videnskabshistoriske genre. Spørgsmålet er så, hvordan man skal få tilfredsstillt sin lyst til at vide mere om sine yndlingsvidenskabsfolk. Polyteknisk Forlag har deres bud i serien *Ideernes Bagmand*, der nu er oppe på omkring 20 titler.

De tre seneste handler om Lise Meitner, Wilhelm Conrad Röntgen og Heinrich Hertz. Det skal ikke holdes hemmeligt, at vi er i den lette genre. Bøgerne er korte – under 100 sider – og de er både let og hurtigt læste. Det kan være fint. Så behøver indkøbet ikke bare havne i reolen som den store biografi, der blev indkøbt på sidste udlandsrejse, hvor man var fuld af gode intentioner.

På den anden side kan det være svært at komme ud over det rent anekdotiske og overfladiske. Det gælder også de tre bøger her.

Hertz, Röntgen og Meitner er alle nøglefigurer i den moderne fysik. Det er gode valg. De er kendte for deres videnskabelige bidrag og det er også det, der skal sælge serien: Hertz og de elektromagnetiske bølger, Röntgen og de mystiske stråler, og Meitner og spaltningen af uran. Men det er også tre fascinerende mennesker. Ved at følge deres liv og se de tre personer sammen får vi et indblik i Tysklands naturvidenskabelige miljø fra 1880erne til 2. verdenskrig. Det er en spændende historie med mange personlige, videnskabelige og politiske dramaer. Desværre lykkes det aldrig for bøgerne her at formidle meget andet end antydningen. Og det kan man godt ærgre sig over.

Den mest vellykkede er bogen om Lise Meitner. Vi får her mest at vide om den samtidige videnskab og sammenhængene. En af bogens styrker er skildringen af, hvordan det var at være kvinde i naturvidenskaben i første halvdel af 1900-tallet. Det er en vigtig historie, der stadig kan få os til at tænke over, om vi gør det godt nok. Meitner måtte kæmpe og holdt heldigvis for videnskaben



og os fast trods lavt kvindesyn og lav løn. Men mange gav op.

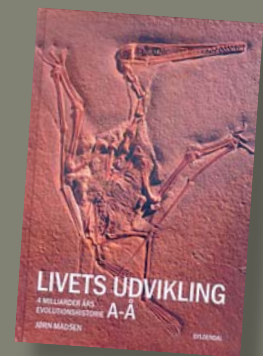
Det når man ikke her, for læsningen er overstået næsten før man er kommet i gang. Bøgerne er fint illustrerede, men kunne alle have haft gavn af en bedre redaktion. Det kan man godt forvente fra forlaget. Det er ikke billige bøger. Hvis man skal lave status over serien nu knap 10 år efter de første udgivelser, så er det stadig de oversatte introduktioner af populærmaskinen Paul Strathern, der er bedst. Det er en skam.

Bjarne Kousholt, Heinrich Hertz og de elektromagnetiske bølger; Povl-Otto Nissen, Röntgen og de mystiske stråler; Preben Hartmann-Petersen, Lise Meitner og spaltningen af uran. Alle udgivet på Polyteknisk Forlag i 2005. 128 kr. Mellem 92 og 96 sider. ■



Hawking's Uendelige Univers
Bogen *Hawking's Univers*, der udkom i 1988, blev en international bestseller med næsten 10 millioner solgte eksemplarer på 30 sprog. Og det på trods af, at bogen – som handler om fysik og kosmologi – faktisk i passager var temmelig svær. Nu er der så udkommet en efterfølger til denne bestseller, hvor Hawking har allieret sig med den populærvidenskabelige forfatter Leonard Mlodinow. Det betyder, at *Hawking's Uendelige Univers* skulle være langt mere tilgængelig for menigmand. Bogen præsenterer den nyeste udvikling inden for kosmologien, hvor der vitterligt er sket meget siden slutningen af 1990'erne.

Stephen Hawking og Leonard Mlodinow: Hawking's Uendelige Univers. Oversat af Jan Teuber. Gads forlag 2006. 214 sider, 269,- kr.



Livets udvikling

I en ny bog fra Gyldendal fortæller biolog Jørn Madsen om livets udvikling på Jorden siden det første, simple liv opstod for ca. 3,8 mia. år siden. Bogen er opdelt i et langt indledende essay, og derefter som 800 alfabetisk ordnede artikler om nulevende og uddøde arter, evolutionsteori, geologiske tidsperioder, kontinenternes vandring på kloden m.m.

Jørn Madsen: Livets udvikling. Gyldendal 2006. 370 sider, 299,- kr.

100 års jubilæum på Teknologisk Institut

Teknologisk Institut blev grundlagt helt tilbage i 1906 - og er dermed et af verdens ældste institutter af sin art. Institutet blev grundlagt af Gunnar Gregersen, som sammen med håndværkernes og Industriens organisationer så et behov for, at håndværksvirksomheder og mindre industrivirksomheder fik hjælp i form af rådgivning og uddannelse, så de kunne tage tidens mange teknologiske nyskabelser - f.eks. elektromotoren - i brug.

Rådgivning, uddannelse og udvikling af teknologi har siden 1906 udgjort hjørnestenene i Teknologisk Instituts aktiviteter. Teknologierne har udviklet sig; fra datidens elektromotor til nye højteknologiske satsninger og internationalt samarbejde. F.eks. inden for mikro- og nanoteknologi, hvor Institutets udstyr og laboratoriefaciliteter er state-of-the-art. Inden for brintteknologi er Institutet også langt fremme med udviklingen af brintdrevne motorer til f.eks. arbejdskøretøjer. Institutet åbnede sidste år et af verdens første RFID-testcentre og er i dag toneangivende inden

for test og prøvning af denne nye tagging-teknologi. Senest har Institutet etableret et helt nyt og avanceret molekylærbiologisk laboratorium i Århus og i forbindelse med jubilæet i september indvier Institutet Teknologiporten - også i Århus - som er et innovativt nybyggeri, der forventes at ville sætte helt nye standarder for teknologisk service og innovation.

Jubilæumsfestlighederne løber af stablen i september. Den 12. september afholdes det officielle jubilæum på Institutet i Høje-Taastrup med deltagelse af Hendes Majestæt Dronningen, som er Institutets protektor. Dagen efter markeres jubilæet i Århus, hvor Teknologiporten indvies, og hvor man blandt andet kan prøve en brintdrevne letbane, som er indsat til lejligheden. Derefter drager Institutet rundt i landet og afholder konferencer om innovations- og vækstmuligheder i de nye regioner - og jubilæumsaktiviteterne slutter med en festlig finale, nemlig en kæmpe personalefest i Bella Center, hvor TV2 spiller.



Novo Nordisk Training and Research Programme Return Fellowships

Many of the brightest Danish PhD students and post-docs are studying abroad at some of the best universities in the world. Novo Nordisk would like to offer some of these scientists the opportunity to work at Novo Nordisk R&D facilities in Denmark.

A Return Fellowship will enable the post-doc to work for one to two years at Novo Nordisk on a project that combines the interests of Novo Nordisk with the expertise of the post-doc. The post-doc and a Novo Nordisk scientist must jointly prepare the application. If successful, the post-doc will be employed by Novo Nordisk.

Novo Nordisk Training and Research Programme will support each Return Fellow with a total of 750,000 Danish kroner that according to individual agreements shall cover salaries from one to two years including relocation expenses. Novo Nordisk departments, universities or other public sources may contribute to financing of, and thereby possibly extending, the Return Fellowship.

How to apply:

The application must be submitted by a Novo Nordisk scientist using a standard application form.

Evaluation:

The selection will be based on the following criteria:

- 1) The accomplishments and talents of the post-doc.
- 2) Novo Nordisk's interest in the technologies or disciplines mastered by the post-doc.
- 3) Public research institutes' interest in and possible contributions in cash or in kind to the Return Fellowship as well as their interest in employing the Return Fellow once his/her fellowship at Novo Nordisk has expired.
- 4) The possible relevance of the Return Fellow as a resource person for specified Graduate Schools of Research.

Next deadline for applications:

26 September 2006

Further enquiries at Novo Nordisk Corporate Research Affairs:

Børge Diderichsen, tel: +45 44423401, fax: +45 4442 1286, e-mail: bqd@novonordisk.com
Jørgen Dirach, tel: + 45 4442 3355, fax: +45 4442 1286, e-mail: jdi@novonordisk.com

Fagredaktører

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

Michael Cramer Andersen, astrofysiker og videnskabsformidler.
Flemming Besenbacher, professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.
Claus Hviid Christensen, professor Kemisk Institut, DTU
Lars Lindberg Christensen Informationschef, Hubble rumteleskopet (ESA)/ (ESO), München
Jesper Dahgaard, lektor, Aalborg Hospital Science and Innovation Center (AHSIC)
Søren B.F. Dorch, astrofysiker, ph.d., Danmarks Natur- og Lægevidenskabelige Bib., adjungeret professor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
Michael Drewsen, forskningslektor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
Claus Emmeche, lektor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Jens Morten Hansen er statsgeolog ved GEUS samt adjungeret professor i naturfilosofi ved Københavns Universitet.

Vagn Lundsgaard Hansen, professor, Inst. for matematik, DTU.

Peter K.A. Jensen, adm. overlæge, Klinisk genetisk Afdeling, Aarhus Universitetshospital

Mikkel Willum Johansen, matematiker samt cand.mag. i filosofi, Center for Naturfilosofi og Videnskabsstudier, Københavns Universitet

Anne Mette K. Jørgensen, Danmarks Meteorologiske Institut.

Peter C. Kjærgaard, lektor, Institut for Filosofi og Idéhistorie, Aarhus Universitet.

Gunnar Larsen, cand. scient., Fyns Amt.

Benny Lautrup, professor, Niels Bohr Institutet, Københavns Univ.

Bent Lauge Madsen, biolog (pensioneret fra Miljøministeriet).

Ole G. Mouritsen, professor, Institut for Fysik, Syddansk Universitet.
Bent Nielsen, gymnasielektor, Københavns VUC.

Henry Nielsen, lektor, Institut for Videnskabshistorie Aarhus Universitet

Rasmus Pagh, forskningsadjunkt, IT-Universitetet i København

Jens Olaf Pepke Pedersen, seniorforsker, Danmarks Rumcenter.

Kaj Sand-Jensen, professor, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet.

Theresa S. S. Schilhab, forsker, Learning Lab Denmark

Klaus Seiersen, ph.d., Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Torben Lund Skovhus, konsulent, ph.d., Teknologisk Institut.

Carl-Erik Sølberg, civilingeniør, Institut for Fysik, Aalborg Universitet.

Tilbud til undervisere:

**Køb dette temanr. om
De 10 største
naturvidenskabelige erkendelser
som klassesæt**

Prisen på 360,- kr. dækker et klassesæt på 30 stk. og er inklusive moms, porto og ekspedition.

Bestil på tlf.: 8942 5555 eller via
e-mail: red@aktuelnat.au.dk

Abonnementservice:
varetages af

**Oxygen Media Service
Postbox 865
2400 København NV**
Telefon 3816 8026 (hverdage kl. 9 - 13)
Fax 3916 2617
email: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning!

NB: Du kan også bestille via hjemmesiden: www.aktuelnaturvidenskab.dk



Ja tak – jeg vil gerne tegne abonnement på bladet
Aktuel Naturvidenskab. Pris kun 261,- kr. for seks numre.

Navn: _____

Firma: _____

Adresse: _____

Postnr. og by: _____

Evt. tlf. nr. / e-post: _____

Jeg ønsker at starte mit abonnement med blad nr.:

1-2006: senest udkomne nr.: Andet: _____

Abo. + pakke med alle ikke udsolgte numre: (tilbudspris: 440,- for ialt 30 blade)

Jeg er medlem af UNF og ønsker at få UNF-rabat på abo.:
UNF-medlemsnr.: _____

Indsendes til Aktuel Naturvidenskab inden 31. dec. 2006



Sendes ufrankeret
Modtageren
betaler porto en

**Abonnementservice
Oxygen Media Service
Postbox 865
+++ 3540 +++
2400 København NV**

Synspunkt

Kanonen i stilling



Af Carsten R. Kjaer og



Jørgen Dahlgaard, redaktør,
Aktuel Naturvidenskab.
red@aktuelnat.au.dk

■ Da Kulturministeren i starten af året stolt kunne præsentere sin “kulturkanon”, var vi mange der spurgte: Hov – hvor i alverden er naturvidenskaben blevet af? Er naturvidenskabens erkendelser ikke i lige så høj grad kulturbærende som litteratur, arkitektur og kunst? Siden har debatten gået frem og tilbage om kulturkanonen, og andre kanoner (som for nyligt en historiekanon) er kommet på banen. Der har også været tilløb til at foreslå en egentlig naturvidenskabskanon, idet Magisterbladet har foranstaltet en indsamling af forslag fra medlemmerne af Magisterforeningen til, hvad der kunne indgå i en dansk naturvidenskabskanon.

Uanset, at nogen vil betragte forsøg på at opstille kanoner for f.eks. naturvidenskab som en selskabsleg i smagsdommeri, har en sådan øvelse i vore øjne den indlysende værdi, at det sætter gang i refleksioner og diskussioner om grundlaget for det givne fagområde. Vi har også i flere ledere i bladet agiteret for, at naturvidenskaben burde hoppe med på kanonvognen for om muligt at finde ind til den “kerneviden”, som man kan argumentere for, at enhver dansker burde have om naturvidenskab. Det vil være ganske nyttigt i en diskussion om, hvad man skal lære i skolen.

I stedet for at vente på, at nogen andre ville påtage sig opgaven at lave en naturvidenskabskanon, har vi smidt alle forbehold overbord og selv kastet os ud i projektet. Beslutningen var da heller ikke svær, da vi ligefrem fik en opfordring til at gøre netop dette fra Jyllands-Posten, som gerne vil slå et slag for naturvidenskaben i kanon-debatten.

Det skulle undre os meget, om vi ikke får et hak i tuden eller to, når listen over de ti største naturvidenskabelige erkendelser præsenteret i dette nummer er blevet studeret rundt omkring i det ganske land. For man kan uden tvivl ganske berettiget kritisere os fra at have set bort fra en række vigtige erkendelser, der med lige så stor ret kunne optræde på en naturvidenskabens top-ti, som dem vi har valgt at kaste vores lod på. Og man kan ligeså berettiget klandre os for ikke at have nævnt en perlerække af fremtrædende viden-

skabsfolk, som har haft en vigtig andel i udviklingen af de erkendelser, vi faktisk har nævnt.

Vi vil gerne komme al den kritik i forkøbet og på forhånd erklære os skyldige: Ja – vi kunne med lige så god ret have gjort al mulig andet end det, vi rent faktisk har gjort. Svagheden ved ethvert forsøg på at lave en naturvidenskabskanon er, at man må se bort fra så utrolig meget relevant, og resultatet altid vil have en grad af tilfældighedens skær over sig. Desuden levner top-ti lister heller ikke plads til de utallige mere anonyme videnskabsfolks indsats, som med stor rette kan hævdes at være videnskabens egentlige drivkraft.

Men når dette er sagt, så er vi ikke et sekund i tvivl om, at resultatet har været indsatsen værd. Den grundlæggende filosofi er jo i al sin enkelthed et ønske om at blive klogere. Det er vi i hvert fald blevet i processen – og forhåbentlig vil vore læsere føle det samme!

En ting, vi har lært af at studere de input vi har fået fra forskerne igennem projektet er, at en del forskere har fokuseret på ”den naturvidenskabelige metode” som den største naturvidenskabelige erkendelse, bl.a. med reference til denne som et opgør med religiøs dogmatik. Man kan tolke dette som forskernes anerkendelse af den store betydning, naturvidenskabens frigørelse fra religiøse forestillinger har haft i videnskabshistorien. Men man kan også tolke det som, at forskerne er bevidste om, at mytologiske forklaringer betyder meget for mange mennesker den dag i dag, og at man derfor stadig i et eller andet omfang bliver nødt til “forsvare” naturvidenskaben overfor religionen.

Skal vi sammenfatte vores projekt i to enkle pointer, kan de derfor være:

- Naturen kan både i det store og det små forklares uden henvisninger til guder eller myter.
- En historisk udvikling er et grundvilkår for Universet, Jorden, Livet – ja, Videnskaben selv.

Lad disse to pointer udgøre naturvidenskabens minikanon. ■