



## Risø årsberetning 2000

Sønderberg Petersen, L.; Andersen, E.M.; Ryde, M.

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Sønderberg Petersen, L., Andersen, E. M., & Ryde, M. (Eds.) (2001). *Risø årsberetning 2000*. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1222(DA)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

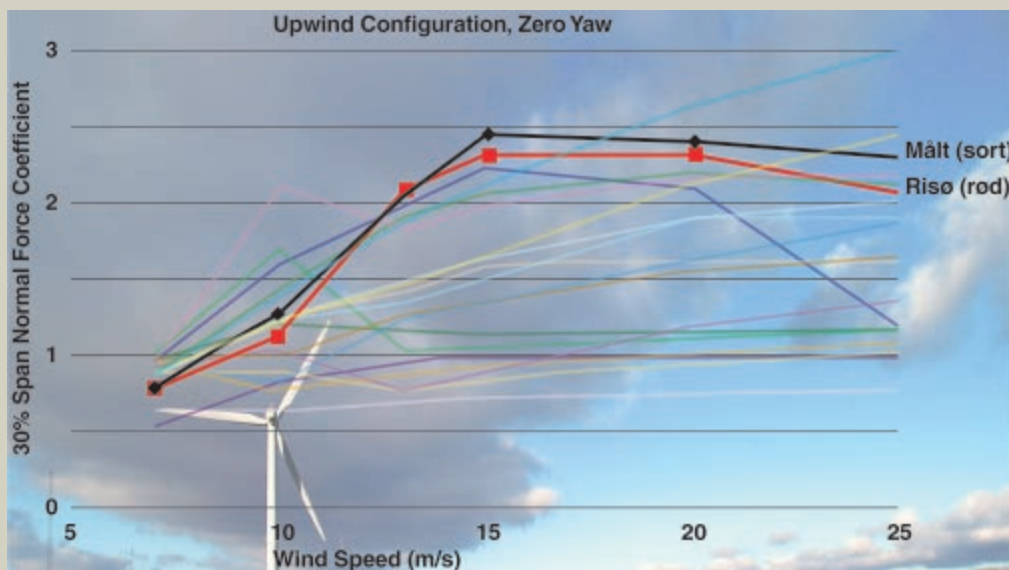
# Årsberetning 2000

Forskningscenter Risø

April 2001

Risø-R-1222 (DA)

## Bedst i vindtest



Risø bedst i test: Risøs forskere forudsage med stor nøjagtighed NREL's (National Renewable Energy Laboratory) målinger af aerodynamiske forhold omkring roterende vindmøllevinger. Risø var sammen med både USA, Europa og Japan indbudt til at forudsige målingerne ud fra egne matematiske modeller. Der var 20 deltagere i denne blindtest, og Risøs forudsigelser viste sig stort set at falde sammen med det, NREL faktisk havde målt.

Verdens førende vindmølleforskere var i december 2000 vidne til, hvordan Risøs forskere med stor nøjagtighed forudsagde NREL's (National Renewable Energy Laboratory) målinger af aerodynamiske forhold omkring roterende vindmøllevinger.

I Moffet Field, Californien råder NASA-Ames over verdens største vindtunnel til afprøvning af fly, helikoptere og lignende. Her har NREL fået mulighed for at gennemføre en aerodynamisk test af en forsøgsmølle på 10 meter i diameter for at

afdække de fundamentale aerodynamiske forhold omkring roterende vinger. I forbindelse med forsøget var institutioner fra både USA, Europa og Japan indbudt til som blindtest at forudsige målingerne ud fra egne matematiske modeller. Der var 20 deltagere i denne blindtest, og Risøs forudsigelser viste sig stort set at falde sammen med det, NREL faktisk havde målt. Risø har i samarbejde med DTU i mere end 10 år satset og troet på, at det var muligt at udvikle modeller, som med

stor nøjagtighed kunne forudsige aerodynamiske forhold – den såkaldt virtuelle vindtunnel, og det har altså vist sig at holde stik. Modellerne er af stor værdi i den videre forskning og i design af møllevinger.

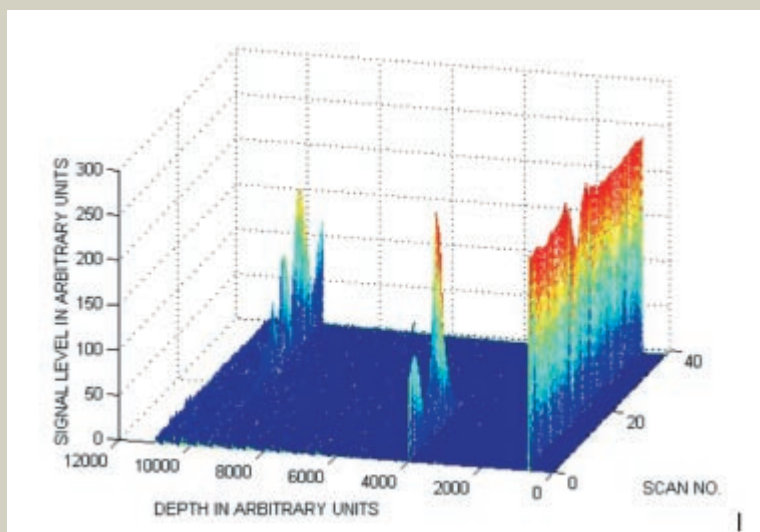
## Robotmuskler bliver bedre

Robotmuskler er såkaldte aktuatorer lavet af plast, som kan omsætte et elektrisk signal til en mekanisk bevægelse og levere drivkraften til et bevægeligt system med samme smidighed, som musklerne bevæger kroppen.



BOYE KOCH

# Nye 3-D billeder afslører sygdomme før lægens øje

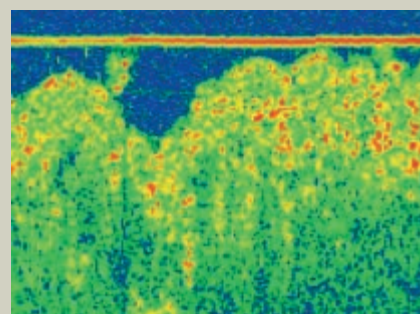


Med en ny teknik får lægerne skarpe billeder, der kan afsløre en række sygdomme på et tidligt tidspunkt. Det gælder for eksempel nethindesygdomme, modermærkekræft og karsygdomme. Teknikken kaldes OCT, en forkortelse for optical coherence tomography – optisk kohærenstomografi. Den videreudvikles i et samarbejde mellem Københavns Amts Sygehus i Herlev, DTU og Risø i et projekt under Center for Biomedicinsk Optik og Nye Lasersystemer, BIOP. Risøs indsats har i 2000 resulteret i et teoretisk gennembrud, der

via nyudviklet matematik og software gør det muligt at hente endnu flere informationer ud af OCT-billederne. Det svarer lidt til at kunne gøre et almindeligt, uskarpt foto skarpt lige præcis med hensyn til de detaljer, man vil vide mere om. Eller man kan lade computeren arbejde sig gennem mange billeder for at finde bestemte mønstre i sygdomstræk fra mange hundrede patienter. Billederne fremstilles efter en slags ekkolod-princip, nemlig ved at sende lysstråler ned i huden og måle den tid, det varer, før lyset kom-

mer tilbage. På den måde kan man tegne et reliefbillede af huden i et tyndt, lodret lag ned i huden. Så flytter man lysstrålen et lille stykke og tegner endnu en lodret profil. Sådan bliver man ved, indtil man har et totalt tredimensionalt billede af det stykke hud, man vil undersøge. OCT skelner desuden detaljerne i huden op til tyve gange så godt som det menneskelige syn.

Ny teknik giver lægerne skarpe billeder, der kan afsløre en række sygdomme på et tidligt tidspunkt. Risø har nået et teoretisk gennembrud, der gør det muligt at hente endnu flere informationer ud af et 'skud' ned gennem patientens hud (herunder). Billedet viser en computerbearbejdet gengivelse.



En aktuator lavet af plast kan omsætte et elektrisk signal til en mekanisk bevægelse og levere drivkraften til et bevægeligt system med samme smidighed som musklerne bevæger kroppen. Dette kan føre til udvikling af robotter, som med bløde bevægelser kan håndtere skrøbelige genstande. Under Forskningsstyrelsens forskningsprogram THOR (Technology by Highly Oriented Research) har Risø i samarbejde med Danfoss A/S og DTU siden 1998 arbejdet med udviklingen af polymerbaserede aktuatorer. I projektet arbejdes med to typer aktuatorer. Den såkaldte dielektriske aktuator er baseret på gummistoffer med specielle dielektriske egenskaber. Forskerne har i 2000 nået det mål, de satte sig for tre år siden, og udviklet en

dielektrisk aktuator, som kan løfte 250 gram, hvilket svarer til 100 gange dens egen vægt, på mindre end et sekund. Ulempen ved denne aktuator er, at den kræver en driftsspænding på flere tusind volt. I en anden type aktuator baseret på elektrisk ledende polymerer, fremkaldes bevægelsen ved, at materialet udvider sig, når der løber strøm igennem det. Disse aktuatorer kan drives af et almindeligt 1,5 volts batteri. De er til gengæld ikke så stærke og ikke så hurtige. I det kommende år skal forskerne udvikle en demonstrator, som kan vise, hvad en blød og smidig polymerbaseret aktuator kan bruges til.

2000 – et skelsættende år · 03

Energi · 04

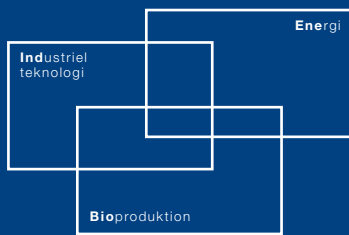
Industriel teknologi · 14

Bioproduktion · 24

Viden, kompetencer og menneskelige ressourcer · 30

Økonomi · 40

Miljø · 42



## 2000 – et skelsættende år

År 2000 blev mere skelsættende for Risø, end direktion og bestyrelse kunne forudse ved årets start, og 2001 tegner ikke mindre betydningsfuldt. Den altoverskygende begivenhed på Risø var beslutningen om at lukke forskningsreaktor DR3. Lukningen så ud til at kunne sætte en stopper for en meget succesrig forskning, som igennem fire årtier har gjort Risø verdenskendt. Det er imidlertid lykkedes at indgå en aftale med det svejtsiske Paul Scherrer Institut om flytning af vore tre bedste instrumenter dertil, og efter planen vil de første målinger finde sted i løbet af maj måned. På denne måde kan vi føre dele af den neutronbaserede materialeforskning videre, selv om det bliver i en ny rolle som brugere af en facilitet i udlandet.

BOYE KOCH



Det er planen at overføre ansvaret for nedlæggelsen af de nukleare anlæg til Dansk Dekommissionering, DD. 70 medarbejdere fra Risø planlægges overført til den nye institution, hvor deres store faglige ekspertise kan udnyttes i det videre ar-

bejde med nedlæggningen af Risøs nukleare anlæg og med at forberede beslutningen om et permanent dansk depot for radioaktivt affald. Affald, som ikke blot stammer fra Risø, men fra alle danske virksomheder, hospitaler og andre institutioner, som anvender radioaktive stoffer. Med lukningen af DR3 faldt en række medarbejderes opgaver dog desværre bort, og Risø måtte derfor afskedige 25 medarbejdere.

2000 blev året, hvor Risø gennemførte den første medarbejdertilfredshedsundersøgelse. Den viste rimelig tilfredshed med opgaver og det nære arbejdsmiljø, men også at der var behov for at forbedre samarbejdet mellem medarbejdere og ledelse. Som opfølgning er der blandt andet gennemført en fornyelse af konceptet for medarbejderudviklingssamtalen. Risøs væsentligste styrke er en højt kvalificeret og stærkt motiveret stab af medarbejdere. Derfor vil udvikling af medarbejdernes kompetencer og rekruttering af nyt talent blive højt prioriterede opgaver for alle ledere på Risø i de kommende år.

Forskningen har givet mange væsentlige resultater i 2000. Vi præsenterer et udvalg af dem i denne årsberetning, og de er yderligere uddybet i forskningsafdelingernes trykte og elektroniske årsberetninger.

Økonomisk set er det gået Risø væsentlig bedre med de kommercielle indtægter end budgetteret for 2000. Det har været med til at afbøde den økonomiske skade af de manglende indtægter fra siliciumbestrålingen, som fulgte i kølvandet på lukningen af DR3 samt den omstændighed, at reaktoren faktisk stod stille det meste af 2000 på grund af de undersøgelser, der førte frem til lukningen.

Lukningen af DR3 var et farvel til en væsentlig del af Risøs identitet, men en ny identitet var allerede ved at tage form på det tidspunkt. I 1999 var der igangsat et omfattende arbejde med at udforme en strategi for et nyt Risø uden nukleare anlæg i erkendelse af, at reaktorens levetid var begrænset. Den nye strategi fokuserer

på energi, industriel teknologi og bioproduktion og er baseret på Risøs unikke kombination af kompetencer på områder, hvor vi i samarbejde med en række af vore sponsorer, samarbejdspartnere og kunder har identificeret væsentlige samfundsbehov i de kommende år.

Risøs nye strategi blev godkendt af Risøs bestyrelse i november 2000. Den blev lanceret omkring årsskiftet. Strategien skal danne basis for forhandlingerne om en ny fireårig kontrakt med IT- og Forskningsministeriet, når den nuværende udløber i 2002.

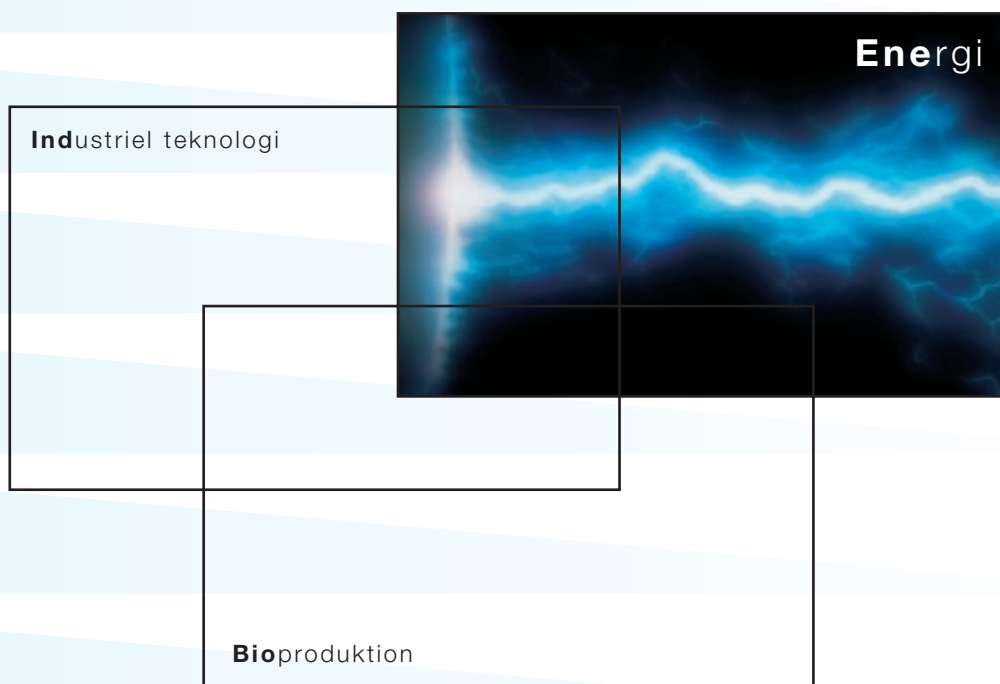
IT- og Forskningsministeriet forudser, at Risøs opgaver, bevilling og arbejdsvilkår med stor sandsynlighed bliver en del af det næste finanslovsforlig. Vilkårene vil derfor først ligge fast sidst på året. Inden for samme tidshorisont skal Forskningskommissionen levere en betænkning, som kan betyde nye rammer for sektorforskningen. Rammerne for det ny Risø er derfor samlet set meget påvirkelige af en lang række ydre og indre faktorer, som kræver en planlægningsmæssig balancegang.

Derfor er det ekstra vigtigt, at Risøs nye strategi giver solide og løfterige perspektiver for det faglige og samfundsnyttige indhold i forskningen. Derved vil den komme til at stå som et pejlemærke for målene i den store omlægning, Risø står over for i 2001. Vi viser i denne årsberetning, at Risø skaber solidt afkast af de forskningskroner, der investeres i os, og vores ambition er, at dette afkast skal vokse i de kommende år.

Risøs kompetente og engagerede medarbejdere har den afgørende rolle i produktionen af Risøs resultater. I 2000 har alle medarbejdere samtidig kastet deres fulde energi og viden ind i udarbejdelsen af Risøs nye strategi. Det siger vi dem tak for.

Jørgen M. Clausen  
*Formand for Risøs bestyrelse*

Jørgen Kjems  
*Administrerende direktør*



Flere mennesker og mere velstand hænger tæt sammen med stigende energiforbrug og dermed stigende udledning af drivhusgasser, som nu erkendes at medvirke til globale klimacændringer. Som førende dansk energiforskningscenter arbejder Risø på at skabe ny viden, som kan fremme opfyldelsen af de globale mål for reduktion af miljøbelastningen fra det voksende energiforbrug. Risø arbejder for, at de danske energipolitiske mål kan opfyldes, og det kan tillige skabe nye erhvervs muligheder.

## Vindenergi

### Store forventninger til vindmøller på havet

Risø indsamler data om vind- og turbulensforhold på otte halvtreds meter høje meteorologimaster forskellige steder i det østlige Danmark, hvoraf de seks er placeret på havet. De otte lokaliteter er udpeget af regeringen som egnede til udvikling af vindenergi. Målingerne indsamles for SEAS med henblik på at designe og etablere vindmølleparker de pågældende steder og udvikle modeller for vindressourcer. Ud fra målingerne kan Risø-forskerne forudsige vindforhold og det tilsvarende output af vindenergi, som det allerede er sket ved Middelgrunden i Københavns Havn, før man byggede vindmølleparken her. Vindmølleparker på havet kan bidrage væsentligt til energiforsyningen. I 2030 skal 50% af Danmarks energiforbrug ifølge regeringens målsætning baseres på vindenergi, heraf 3/4 fra havvindmøller.

### Mere vind i el-forsyningen

Med de meget ambitiøse mål, den danske regering har for udbygningen af vindkraft i Energi 21, er det nødvendigt at vide, hvordan møllerne spiller sammen med de traditionelle kraftværker i el-forsyningen. Traditionelt reguleres vindmølleparker til at producere mest muligt, mens det er op til de øvrige kraftværker i systemet at sørge for balancen mellem forbrug og produktion, dvs. reguleringen af el-systemet. Med en meget kraftig udbygning af vindenergi er det væsentligt, at de store vindmølleparker også kan bidrage til reguleringen. Vindmølleparkeres samspil med el-nettet kan undersøges ved at udarbejde modeller for vindmølleparker i værktøjer, som traditionelt anvendes til at simulere el-systemer. Risø er projektleder for EFP-projektet 'Simulation af vindkraftværker', som giver en samlet model for 12 MW-parken i Hagesholm. Risø står for udarbejdelsen af de dynamiske modeller, der simulerer de enkelte møller i parken under

SEAS



Ud fra målinger kan Risø-forskerne forudsige vindforhold og det tilsvarende output af vindenergi. Her ved Middelgrunden i Københavns Havn.

MICHAEL FISCHER

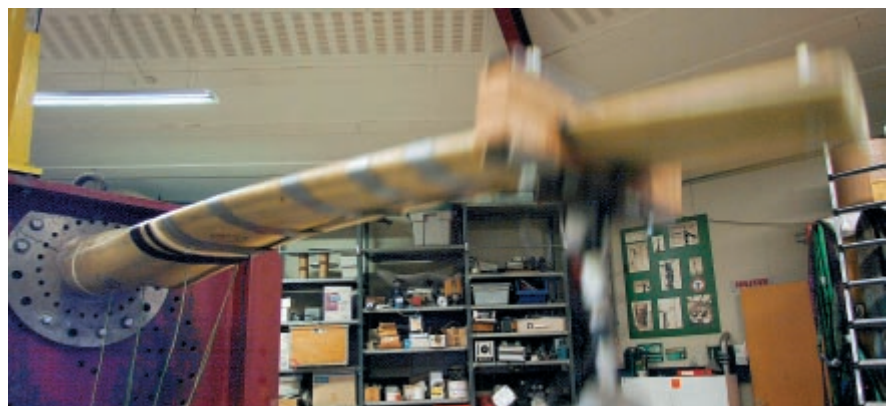


Målene for udbygningen af vindkraft i Energi 21 gør det nødvendigt at vide, hvordan møllerne spiller sammen med de traditionelle kraftværker i el-forsyningen. Risø er projektleder for EFP-projektet 'Simulation af vindkraftværker', hvor der udvikles modeller til at forbedre udformningen og styringen af store vindmølleparker.

forskellige vindpåvirkninger. Samarbejdspartnerne er Aalborg Universitet, Dancontrol Engineering A/S og NVE. Modellerne er nu ved at blive efterprøvet i forhold til målinger. Det er tanken at anvende de udviklede modeller i kommende projekter med henblik på at forbedre udformningen og styringen af store vindmølleparker, så de kan bidrage aktivt til reguleringen af el-systemet og derved bedre erstatte traditionelle kraftværker.

#### Dansk videncenter for vindkraftteknologi

Under en rammeaftale med Energistyrelsen om godkendelse og prøvning af vindmøller indgår Risø hvert år en kontrakt om at gennemføre aktiviteter som skal fremme kvalitet, ydeevne og driftssikkerhed for vindkraftanlæg. De senere års udvikling har medført, at det oprindelige godkendelsesgrundlag er under revision, og nye testmetoder er under udvikling. I 2000 trådte et nyt teknisk grundlag for godkendelse af vindmøller i Danmark i kraft, og Risø arbejdede videre med dansk og international standardisering. Målet er, at kravene i de internationale standarder skal være opfyldt som en del af den danske godkendelse, så fabrikanter kan spare arbejde i forbindelse med typegodkendelse til forskellige markeder. I 2000 startede udarbejdelsen af nye rekommandationer



BOYE KOCH

for gearkonstruktion, vingedesign og vindmøller på havet. Ud over Risø medvirker repræsentanter fra industri, forsikringsbranche, godkendelse og brugerkreds i dette arbejde. I 2000 blev der desuden udgivet en rekommandation om generatorer til vindmøller samt et tolkningsdokument vedrørende effektkurvemålinger. Der har været arbejdet med udvikling af målemetoder, blandt andet i relation til el-kvalitet og møller med variabelt omdrejningstal, samt måleplanlægning for den nye afprøvningsplads i Høvsøre. Websiden [www.vindmoellegodkendelse.dk](http://www.vindmoellegodkendelse.dk) er blevet udbygget, så den besvarer de fleste spørgsmål om opstilling af vindmøller i Danmark.

Under en rammeaftale med Energistyrelsen om godkendelse og prøvning af vindmøller indgår Risø hvert år en kontrakt om at gennemføre aktiviteter, som skal fremme kvalitet, ydeevne og driftssikkerhed for vindkraftanlæg.



NORDFOTO



Tekstilplanter som hamp kan sikre udvikling af større møller. Vingerne bliver nemlig så store, at de traditionelle konstruktionsmaterialer ikke slår til. Derfor går Risø nye veje ved at bruge naturens egne fibre i stedet for glasfiber-materiale.

**Flere og større vinger afprøves i Sparkær**

Risøs center for vingefafprøvning i Sparkær har i 2000 oplevet en voldsom vækst i antallet af afprøvninger, og samtidig er de vinger, der prøves, nu op til 40 meter lange. Hallen er bygget til vinger på maksimalt 42 meters længde, så næste generation af længere vinger vil gøre en udvidelse af hallen nødvendig. De større vinger har også betydet, at der er investeret i et nyt trækudstyr. Vingerne bliver testet for både ekstrem last og udmattelse. De nye møller med en kapacitet på op til 2000 kW er tænkt til at stå på havet, hvor de bliver udsat for store belastninger. Sparkærcentret blev i 2000 akkrediteret af DANAK til at udføre statiske og dynamiske prøvninger af vindmøllevinger.

**Lettere møllevinger med plantefibre**

Udviklingen går mod større møller, og et af problemerne med vindmøllernes vokseværk er, at vingerne bliver så store, at de

traditionelle konstruktionsmaterialer ikke slår til. Derfor går Risø nye veje ved at bruge naturens egne fibre i stedet for det traditionelle glasfiber-materiale.

Fremstilling af plantefiberkompositter er baseret på plantefibre, som presses sammen i et plastmateriale. Plantefibrenes fordel i forhold til glas- og kulfiber er først og fremmest en lavere vægt. Forskellige plantefibre og træfibre har været undersøgt, og mest lovende er de traditionelle tekstilplanter hør og hamp, som har forholdsvis lange fibre. Meget tyder på, at polyester er et velegnet plastmateriale, blandt andet fordi det ikke skal behandles ved så høje temperaturer, at plantefibrene beskadiges. De umiddelbare forskningsmål er at udvikle mere ensartede fibre og optimere spindeteknikken for bedre at kunne ensrette fibrene, så luftvolumenet i kompositten minimeres. Luftvolumenet har afgørende betydning for styrken. Risøs planteforskere arbejder med at karakterisere og modificere plantefibre kemisk



BOYE KOCH

Sammen med Haldor Topsøe A/S bygges der i øjeblikket et produktionsanlæg på Risø. Anlægget skal udvikle industriel produktion af brændselsceller. Øverst ses forskningstekniker Kjeld Sandsted under arbejdet med at fremstille en eksperimentel SOFC enhed bestående af tre seriekoblede celler af Rolls-Royce typen. Nederst ses et SEM mikroskopbillede af overfladen af en spherulitisk krystalliseret glas, der undersøges som muligt forseglingsmateriale til cellerne.



og biologisk. Derpå afprøver Risøs materialeforskere fibrenes egenskaber og mekaniske styrke i et kompositmateriale og forsker i udvikling af produktionsteknikken.

**Brændselscelleteknologi**

**På vej mod samlebåndsproduktion af brændselsceller**

Effektivt og uden støj og forurening kan brændselsceller lave kemisk energi om til elektricitet. I tæt samarbejde med firmaet Haldor Topsøe A/S, som har været Risøs samarbejdspartner på brændselsceller af den såkaldte SOFC-type i 11 år (Solid Oxide Fuel Cell), bygges der i øjeblikket et produktionsanlæg på Risø. Anlægget skal udvikle industriel produktion af brændselsceller ved at optimere alle processerne og tilpasse dem til produktion i stor skala. Det er et treårigt projekt, som skal sikre et rimeligt forhold mellem kvalitet og pris, maksimere cellernes holdbarhed og levetid, minimere den indre modstand og

etablere en ikke-destruktiv metode til karakterisering. Anlægget skal efter planen stå færdigt i april 2001. Risø har siden 1989 forsket i udviklingen af SOFC og er i dag blandt de førende på verdensplan. Risø har således udviklet en celle med usædvanlig mekanisk styrke og en meget lav indre modstand ved en operationstemperatur under 850°C. Derfor forventes Risøs brændselsceller i dag at kunne masseproduceres til en stakpris væsentligt under EUs mål for 2005 på 3500 kr. pr. kW. Den lavere driftstemperatur gør det muligt at anvende metalliske materialer til anlægskomponenter, hvilket ser ud til at gøre brændselscelleanlæg konkurrencedygtige i forhold til kulfyret el-produktion.

## Superlederteknologi

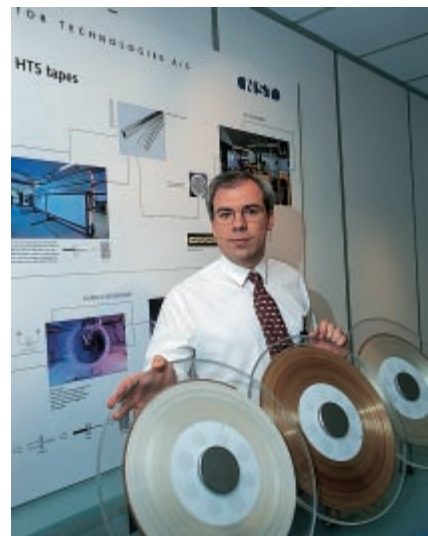
### Debut for superledende kabel i el-nettet

Danmark blev det første land i verden til at anvende et superledende højspændingskabel i el-nettet. Teknologien kan nedsætte energitabet i højspændingsnettet med over 40 procent. De keramiske superledere i kablerne leder elektrisk strøm uden modstand, når de nedkøles med flydende kvælstof til minus 196 grader. Da nedkølingen forbruger energi, får man størst fordel af de superledende kabler, hvor der overføres store mængder strøm, og hvor fordelene ved superledningen derfor udnyttes maksimalt. Dét er netop tilfældet i det danske demonstrationsprojekt: Et 30 meter langt superledende kabel, som monteres på Amager Koblingsstation. Kablet blev sat i drift i foråret 2001. Hjertet i kablerne er flade superledende bånd fremstillet af sølv og superledende pulver. De danske bånd fremstilles af Nordic Superconductor Technologies (NST). Risø deltager med udvikling af pulverets egenskaber og undersøger, hvordan de superledende korn i de færdige bånd ligger orienteret. Kablerne bliver nemlig bedst, hvis kornene ligger på langs som havregrynsflager ved siden af hinanden. I hvor høj grad dette lykkes, undersøger Risø ved hjælp af røntgenstråling ved synkrotronen DESY i Hamborg. Røntgenmålingerne bruges også til at undersøge konsekvenserne af en ny produktionsproces. Risø arbejder desuden med at kortlægge samspillet mellem magnet-

felter og keramiske superledere, idet magnetfelterne har stor indflydelse på kablernes superledende egenskaber. Deltagerne i det danske superlederprojekt spænder hele vejen fra grundforskning til slutbrugere: NKT Research, DTU, Risø, NST, Elkraft, Eltra, DEFU og NKT Cables.

### Små skridt mod varmere superledere

Selv de bedste superledende materialer skal i dag køles til under minus 100 grader Celsius. Ved at forske i de grundlæggende mekanismer bag superledning håber man på at kunne designe et materiale, som er superledende ved stuetemperatur. Et vigtigt forskningsfelt er at studere samspillet mellem superledning og de magnetiske egenskaber af atomkernerne i metallet. I den sammenhæng har Risø sammen med forskere fra Københavns Universitet og Low Temperature Laboratory i Helsinki målt den laveste temperatur nogensinde. Den rekordlave temperatur, der er 0,000 000 0001 grader over det absolutte nulpunkt på -273.15 grader Celsius, blev opnået i en prøve af metallet rhodium. Forsøget har vist, at superledning ud over den lave temperatur også påvirkes af de meget svage magnetfelter fra stoffets atomkerner.



BOYE KOCH

Deltagerne i det danske superlederprojekt spænder hele vejen fra grundforskning til slutbrugere: NKT Research, DTU, Risø, NST, Elkraft, Eltra, DEFU og NKT Cables. Her fremviser administrerende direktør for NST, Juan Farré, spoler med superledende BiSCCO bånd.

MICHAEL FISCHER



I en krystal af thulium-nikkel-borocarbide er den magnetiske opbygning anderledes end i jern; derfor kan superledningen godt eksistere, selv om materialet har en magnetisk struktur. Det giver enestående muligheder for at undersøge vekselvirkningen mellem de to fænomener eksperimentelt.

## Kraftværksteknologi

### Kulpartikler fra danske kraftværker

Der vil i de kommende år blive indført en grænse for indholdet af små partikler i udeluft. I samarbejde med Kemiteknik på DTU og FLS Miljø har der derfor været sat fokus på elværkernes emissioner af fine kulpartikler, lige fra de dannes i kraftværkets forbrændingskammer, til de slipper ud gennem skorstenen. Resultaterne fra projektet viser, at kraftværkerne i Danmark ikke bidrager væsentligt til luftens indhold af små partikler. FLS Miljø har deltaget i projektet, fordi virksomheden blandt andet fremstiller el-filtre til kraftværksskorstene. Der er nu indsamlet data, som kan anvendes til de modeller, der benyttes til forklaring af, hvordan filtrene virker, og hvordan man kan gøre dem mere effektive i fremtiden. Risø har udført alle emissionsmålinger i skorstenene, hvor partiklerne er opsamlet og fordelt i størrelsesklasser på en såkaldt impaktor. I den slynger en hurtigere og hurtigere cirkulerende luftstrøm mindre og mindre partikler ud på en række separate filtre, hvor mængden af partikler i de forskellige størrelsesklasser så efterfølgende kan måles. Den kemiske sammensætning af partiklerne

blev blandt andet undersøgt ved hjælp af neutronaktiveringsanalyse, en følsom analyseteknik baseret på neutronstrålingen fra Risø's nu lukkede reaktor DR3.

### Norden fælles om forskning for effektivt beredskab ved kernekraft-uheld

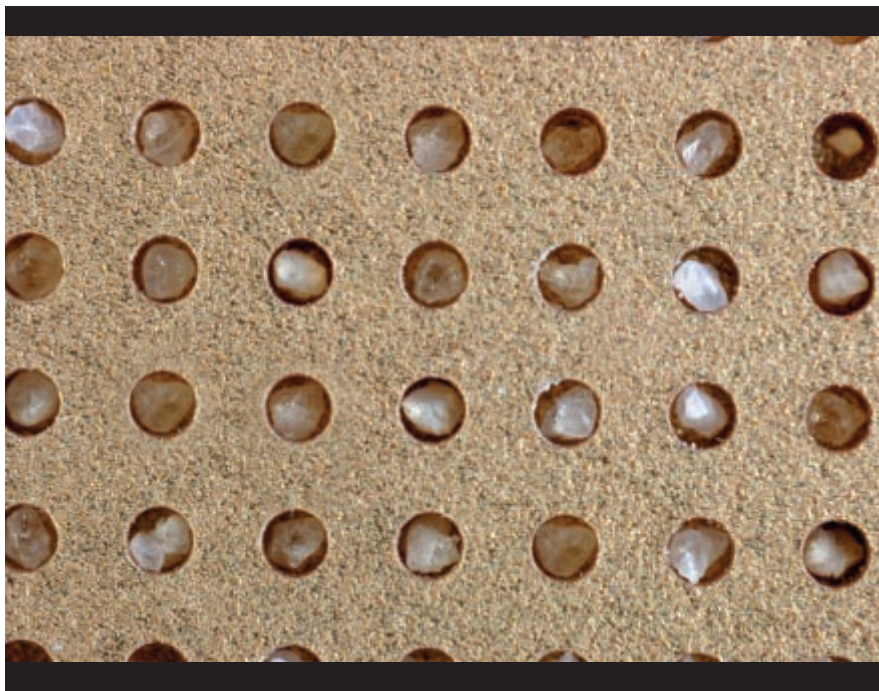
Hurtigere overblik over strålingen. Det er et af resultaterne af den fælles nordiske forskningsindsats inden for Nordisk Kernesikkerhedsforskning (NKS). Forbedringen er opnået ved målinger fra biler udstyret med avanceret måleudstyr og satellitnavigation. Det sætter måleholdene i stand til at levere kort over den radioaktive forurening i det område, hvor bilen har kørt, til beredskabsledelsen inden for timer. Det hurtigere overblik muliggør mere virkningsfulde modforholdsregler inden for landbruget, hvilket spiller en central rolle, blandt andet fordi indtag af radioaktivitet fra fødevarer kan være en væsentlig strålingskilde ved nukleare uheld. Inden for rammerne af NKS arbejder Risø således også med at lave systemer til at prioritere rigtigt mellem de mange muligheder for at regulere landbrugsproduktionen efter et uheld. Nogle indgreb kan direkte være i modstrid med hinanden: For

eksempel kan det være en hurtig løsning at pløje det radioaktive nedfald ned under planternes rødder. Men måske havde det på længere sigt været bedre, hvis man helt havde fjernet det øverste jordlag. Indgrebene kan sjældent gøres om, så målet er at udarbejde cost/benefit analyser, hvor beredskabsledelsen hurtigt kan sammenligne og prioritere mellem de forskellige typer indgreb. Landbrugsorganisationer og myndigheder er inddraget i projektet.

### Et omvendt kig i krystalkuglen efter nukleare ulykker

Risø har i de seneste år haft stor succes med udvikling af OSL-udstyr til at bestemme et materiales alder og de strålingsdoser, mennesker modtager fra radioaktive kilder. OSL – optisk stimuleret luminescens – er de svage lyssignaler, visse mineraler udsender, når de i laboratoriet udsættes for et bestemt lysspektrum. De hidtil anvendte metoder har kun kunnet måle på materialer, som med sikkerhed har været nulstillet i fortiden, det vil sige materialer, som enten er blevet brændt i en ovn, for eksempel en mursten, eller er blevet mættet med sollys (geologiske sediment). Det er lykkedes Risø-forskere at udvikle metoder, der

BOYE KOCH



Den nye enkelt-korns metode kan bruges til at udvælge de mineralkorn i fx cement, som kan give det korrekte svar på, hvor meget stråling materialet og dermed de berørte mennesker i bygningen har modtaget efter en ulykke med radioaktivitet. De enkelte kvartskorn er placeret i små huller. OSL signaler bliver stimuleret fra hvert enkelt korn ved hjælp af en fokuseret laserstråle, der styres til selektivt at ramme hvert hul.

JØRN ROED



Masany i Hviderusland er et af de steder, hvor jorden er forurenet med radioaktivitet efter Tjernobylulykken. Forskere fra Risø har udviklet en metode til at grave det forurenede jordlag ned under rodzonen. Metoden kaldes "tripleddigging", og den betyder at jorden kan dyrkes normalt igen.

kan måle luminescens-signalerne på et enkelt mineralkorn. En udenlandsk post doc. og en dansk ph.d.-studerende skal i de kommende tre år som led i et EU-projekt medvirke til at forfine metoden, så det bliver muligt at bestemme strålingsdoser i beton og andre cement-baserede materialer. OSL-apparatet kan blive nyttigt i forbindelse med ulykker med radioaktivitet eksempelvis på atomkraftværker eller ved arbejdsulykker på hospitaler eller i forskningsmiljøer. Cement og mørtel er en blanding af mange forskellige materialer, hvoraf nogle er blevet nulstillet af solen og andre kun delvist eller slet ikke. Den nye enkelt-korns metode kan bruges til at udvælge de mineralkorn i cementen, som er blevet nulstillet, og som derfor kan give det korrekte svar på, hvor meget stråling materialet og dermed de berørte mennesker har modtaget efter en ulykke med radioaktivitet.

#### Informationsprojekt for folk i Tjernobyl-området

Risø har en meget omfattende viden om, hvordan man fjerner radioaktivitet, for eksempel fra bygninger, mennesker og fødevarer, og har deltaget i oprensningen efter Tjernobyl. Derfor gik det private firma SPAN Consultants i Holland til Risø for at få hjælp til at lede et ambitiøst projekt i Ukraine, Hviderusland og Rusland. Deres idé var at flytte al den viden, der efterhånden er indsamlet om stråling og dens virkning på menneskers liv, fra rapporterens papir til de folk, der lever i området omkring Tjernobyl. En forsker fra Risø blev såkaldt team leader og har således det overordnede ansvar for hele 15 delprojekter, fem i hvert af de tre lande. Han har fastlagt projekterne, forestået eller rådgivet om ansættelsen af de tilknyttede eksperter og rejser nu rundt og tilser de aktiviteter, der vokser frem. Et eksempel er



BOYE KOCH

Forskningsingeniør Benny F. Olsen monterer en prøve i den træk-maskine, hvor afprøvningen af materialer til fremtidens fusionsreaktorer foregår.

rådgivning om svampe, som udgør en vigtig del af den føde, som en stor del af befolkningen i de forurenede områder indtager. Der er stor forskel på svampenes optag af radioaktivitet. Der findes dog meget effektive metoder, som enhver kan bruge, til at reducere svampenes indhold af radioaktive stoffer væsentligt. Et andet eksempel er undervisning af læger og sygeplejersker i områderne. Det viser sig nemlig, at de viderebringer mange af de fordomme om radioaktivitetens skadevirkninger, som trives i befolkningen.

#### I fusionsreaktorer skal væggene være gjort af et særligt stof

Fremtidens kraftværker kan blive baseret på fusionsenergi, hvor brintatomer fusionerer til helium under ekstremt høje temperaturer, omkring 100 millioner grader. Fusionsprocessen frigiver neutroner, som med stor fart torpederer reaktorvæggen.

Risø deltager i det fælleseuropæiske fusionsprogram og forsker i at udvikle materialer, der egner sig som konstruktionsmaterialer til en sådan reaktorvæg. Gennem teoretiske beregninger og eksperimentelle undersøgelser er der opbygget en grundlæggende viden om neutronstrålingens effekt på forskellige materials mikrostruktur og virkningen på de fysiske og mekaniske egenskaber. Forskningen indgår i et stort internationalt forskningsprogram med deltagelse fra EU, Japan, Rusland og USA, hvis umiddelbare mål er at bygge den eksperimentelle reaktor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Risøs bidrag til ITER har i 2000 koncentreret sig om neutronstrålingens effekt på forskellige kobberlegeringer, som udmærker sig ved at have gode varmeledningsegenskaber. Tilsvarende undersøgelser er gennemført med titanlegeringer, som også kan komme til at spille en rolle i opbygningen af reaktorvæggen. Målet er at udvikle en reaktorvæg, som kan modstå belastningen fra neutronstrålingen i mindst 20 år, hvilket er en realistisk levetid for en reaktor, hvis den skal være økonomisk rentabel.

### I front med computersimulering af plasmaturbulens

Risø bidrager til forståelsen af plasmaturbulens i fusionsreaktorer. I 2000 er koderne til computersimulering af plasmaturbulens sammenlignet med koderne fra Max-Planck-Institut für Plasmaphysik i Tyskland. Risøs koder har vist sig at være fuldt på højde med Max-Planck-Institutets koder og på nogle punkter bedre. De gode resultater har ført til, at der er etableret et tæt samarbejde mellem Risø og Max-Planck-Institut für Plasmaphysik. Da det er kompliceret at foretage målinger på noget, der er så varmt som en fusionsreaktor, studeres fænomenerne også gennem simulering på store supercomputere. Computersimulering af plasmaturbulens er indviklet, da det ikke kun involverer 'almindelig' turbulens, som man kender fra vand og luft, men også påvirkes af elektriske og magnetiske felter inde i plasmaet.

### Klimaet, Kyoto og energien

#### Risø uddanner afrikanske klimaforhandlere

Risøs forskere deltager i FNs arbejde inden for energi og klima gennem UNEP-centre-

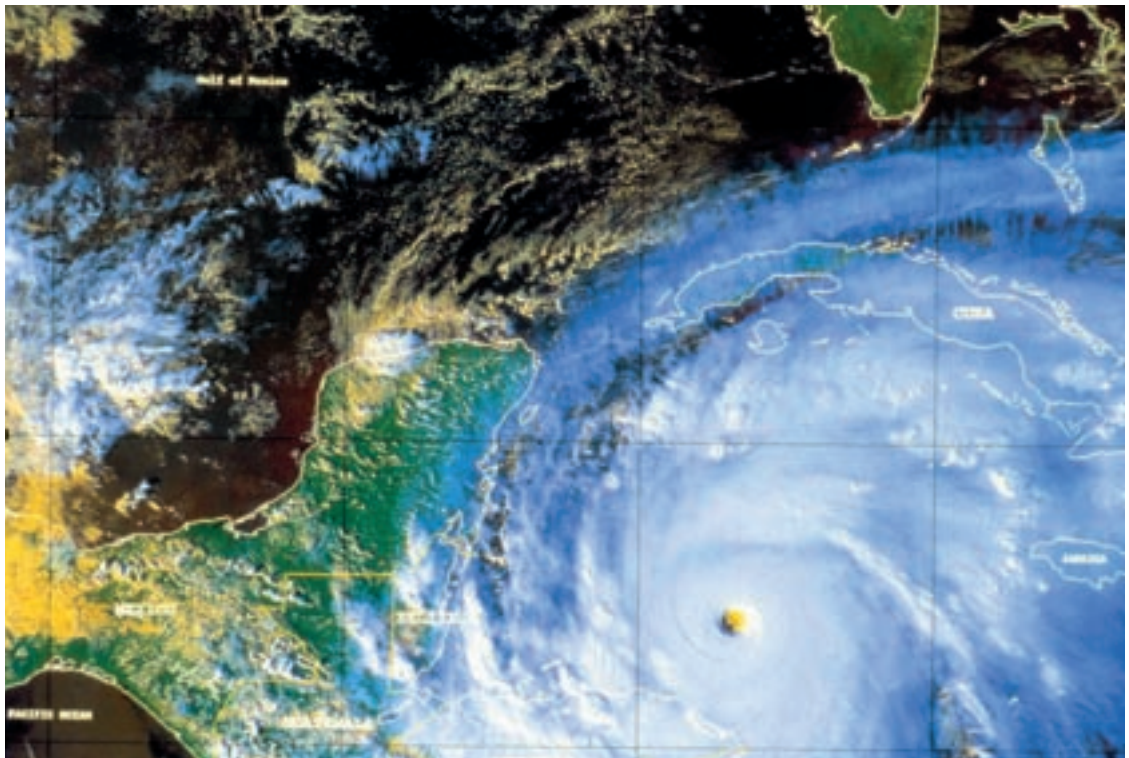
ret, som er etableret i 1990 i samarbejde mellem UNEP (United Nations Environment Programme), Risø og Danida. UNEP-centeret har i 2000 blandt andet afsluttet et Danida-finansieret projekt, som gennem møder og generel vidensopbygning har gjort afrikanske forhandlere bedre rustet til at deltage i de internationale forhandlinger på klimaområdet. Et arbejde, som Risø har fået positiv feedback på, blandt andet på klimakonferencen i november i Haag, hvor de afrikanske forhandlere spillede en større rolle. Centeret har også afsluttet tre nationale studier i Afrika, som har analyseret, hvilke kapaciteter, der skal opbygges, for at landene kan gennemføre projekter under den såkaldte Clean Development Mechanism (CDM). Under CDM kan industrialiserede lande investere i en bæredygtig udvikling i specifikke ulandes energiprojekter for til gengæld at købe en andel af de opnåede emissionsreduktioner. Tre af Risøs forskere er udvalgt som medlemmer af IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) og har bidraget til både færdiggørelsen af klimapanelets 2 'Special reports' om henholdsvis emissionsscenerier og teknologioverførsel fra nord til syd og den

NORDFOTO



Klimaforskere bliver stadig mere sikre på, at kloden står over for ændringer af klimaet. Effekterne kan blive, at verdenshavene stiger og vi vil kunne vente mere ekstremt vejr som oversvømmelser og storme. En samlende ramme for Risøs energiforskning baseres på analyse af kommende post-Kyoto klimamålsætninger og de mulige nye krav til den fremtidige energiforsyning.

Rapporten, 'The Third Scientific Assessment Report', er den tredje fra FNs klimapanel, IPCC, og den mest direkte med hensyn til de uundgåelige klimaforandringer, som fx vil føre til flere situationer med ekstremt vejr som orkaner. Tre af Risøs forskere er udvalgt som medlemmer af IPCC og har bidraget til færdiggørelsen af klimapanelets 2 'Special reports' samt 'Third Assessment Report'.



NORDFOTO

NORDFOTO



EU-landene er blevet enige om, at en af metoderne til at fremme en mere bæredygtig el-produktion er at tildele de forskellige el-udbydere certifikater i forhold til, hvordan strømmen er produceret. Risø deltager i EU-projekter, som skal beskrive en model for et internationalt el-marked, der fremmer vedvarende energikilder.

generelle 'Third Assessment Report' (TAR). TAR udkommer i 2001 og har status af den seneste samlede videnskabelige vurdering af alle klimaproblematikkens områder.

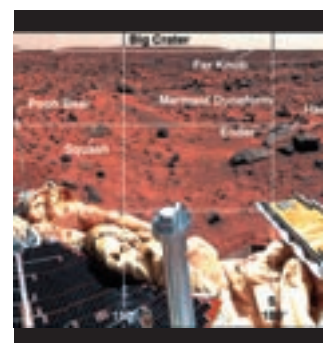
#### Markedsmekanismer skal styre handel med el-certifikater

EU-landene er blevet enige om, at en af metoderne til at fremme en mere bæredygtig el-produktion er at tildele de forskellige el-udbydere certifikater i forhold til, hvordan strømmen er produceret. I løbet af nogle år er det meningen, at forbrugerne skal købe certificeret strøm, således at en vis procentdel af den enkeltes strømforbrug kommer fra vedvarende energikilder. Målet er at nå op på 12,5 procent i gennemsnit af alle EU-borgeres el-forbrug i 2010. Der er dog stor forskel på, hvor meget hvert enkelt land bidrager. Danmark satser for eksempel på at nå helt op på 29 procent, mens Italien kun vil bidrage med 5,9 procent. Risø deltager i EU-projekterne 'REBUS' og 'IntraCert', som skal beskrive en model for et internationalt el-marked, der fremmer vedvaren-

de energikilder. Målet er, at markedsmekanismerne og ikke de enkelte landes statskasser skal styre el-produktionen i retning af en rentabel vedvarende energi-produktion. Markedet skal fungere sådan, at de vedvarende energikilder for eksempel placeres der, hvor de hver især er mest hensigtsmæssige, og at den mest CO<sub>2</sub>-forurenende produktion også bliver den dyreste. Risø bidrager tillige til Energistyrelsens forskningsprogram 'Virkemidler til VE-udbygning' med analysemodeller, som kan beskrive samspillet mellem certifikater og emissionstilladelser og forudsige, hvordan dette komplekse marked vil fungere.

#### Midler til at overholde internationale klima-aftaler

Danmark forpligter sig til at nedbringe udslippet til luften af stoffer, som forstyrrer verdens klima, ved at underskrive de internationale aftaler udmøntet i Kyoto- og ECE-protokollerne (Economic Commission for Europe). Miljø- og Energiministeriet har derfor behov for talmateriale, der beskriver situationen år for år, og for

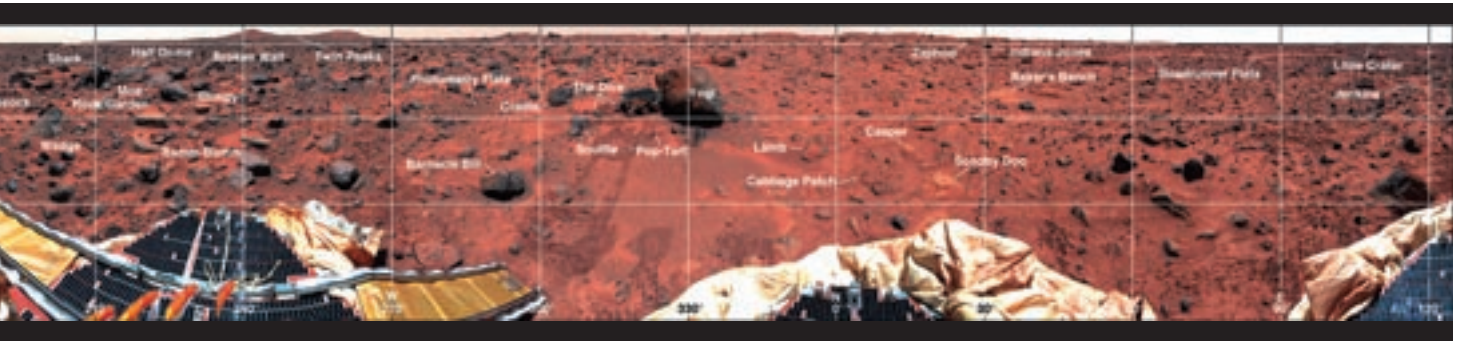


Planternes vækst og indbyrdes udbredelse måles med en strikkepind, som sænkes gennem hundrede huller i stativet. Dermed opnås tilstrækkeligt mange målepunkter til, statistisk set at sige noget om, hvordan vegetationen reagerer på de klimatiske ændringer, som skabes kunstigt med store rullegardiner.

økonomiske beregninger og idéer til nye metoder, der kan medvirke til at opfylde målene. Et vigtigt element er de såkaldte fremskrivninger, det vil sige beregninger af det fremtidige udslip af drivhusgasser samt svovl- og kvælstofoxider, der giver forsurening. Fremskrivningerne opdateres år for år med ændringerne i regeringens handlingsplaner for energi, affald, skovrejsning, vandmiljø og ammoniak. Der arbejdes også i et samarbejde med forskningsinstitutionerne under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Industri med at beregne, hvilken virkning forskellige nye tiltag vil have på emissionerne. For eksempel kan man ved at dyrke elefantgræs i stedet for korn opnå både at lagre kulstof i jorden og at reducere udslippet af drivhusgassen lattergas, samtidigt vil man skulle pløje mindre med CO<sub>2</sub>-forurenende traktorer og man vil få en ny type brændsel.

**Overblik over sammenhæng mellem økonomiske indgreb og miljø**

Når regeringen fremlægger en finanslov, skal der samtidig foreligge en beskrivelse af den forventede udvikling i landets betalingsbalance, arbejdsløshed osv. ADAM er navnet på den officielle økonomiske planlægningsmodel, der automatisk beregner disse sammenhænge. De seneste år har der tillige skullet fremlægges en miljøvurdering, som for eksempel beskriver, hvordan den økonomiske udvikling vil påvirke udledningen af drivhusgasser til luften, kvælstof og fosfor til vandmiljøet, affaldsmængden og forsureningen af miljøet. Risø har bidraget til at udvikle en model, der beskriver energiforbrug og relaterede emissioner. Modellen bærer navnet EMMA, og den anvendes nu af regeringens økonomer som supplement til ADAM. Gennem et projekt under det Strategiske Miljøforskningsprogram arbejdes



NASA

Meteorologer fra Risø var med på en 'kigger', mens Pathfinder var på Mars. Analyse af de mange data kan give bedre klimamodeller.

der i øjeblikket på at udvide med en landbrugsmodel (LADA), som kobler udviklingen i landbruget sammen med emissioner til luft og vandmiljø. I projektet deltager også Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks Statistiske Modelgruppe og Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut. Modellerne kan bruges til at skabe overblik over, hvordan den økonomiske politik og udvikling påvirker miljøet.

### Global opvarmning truer også heden

I et EU-projekt med seks partnere undersøger man, hvad der vil ske med semi-naturlige økosystemer, hvis klimaet bliver varmere, eller hvis nedbørsmønstret ændrer sig med længerevarende tørkeperioder om sommeren. Risø har udviklet forsøgspstillinger, som nu i to år har stået i Mols Bjerge og tilsvarende steder i Wales, Holland og Spanien. Målingerne har vist, at tørke påvirker græssernes vækst i negativ retning, mens blot en grads opvarmning favoriserer græsset på bekostning af lyngen. Faren ved opvarmning viser sig tydeligt i dette projekt: Den globale opvarmning truer lyngens levevilkår, så den på længere sigt risikerer at blive udkonkurreret. Dette kan generelt medføre, at mængden af plantearter reduceres, og vi får helt andre naturtyper i Europa. Projektet giver således politikerne øget viden om naturens mulige reaktioner på den globale opvarmning, viden som indgår i grundlaget for nationale og internationale beslutninger vedrørende kuldioxid-udslippet.

### De europæiske skove afhjælper drivhuseffekten

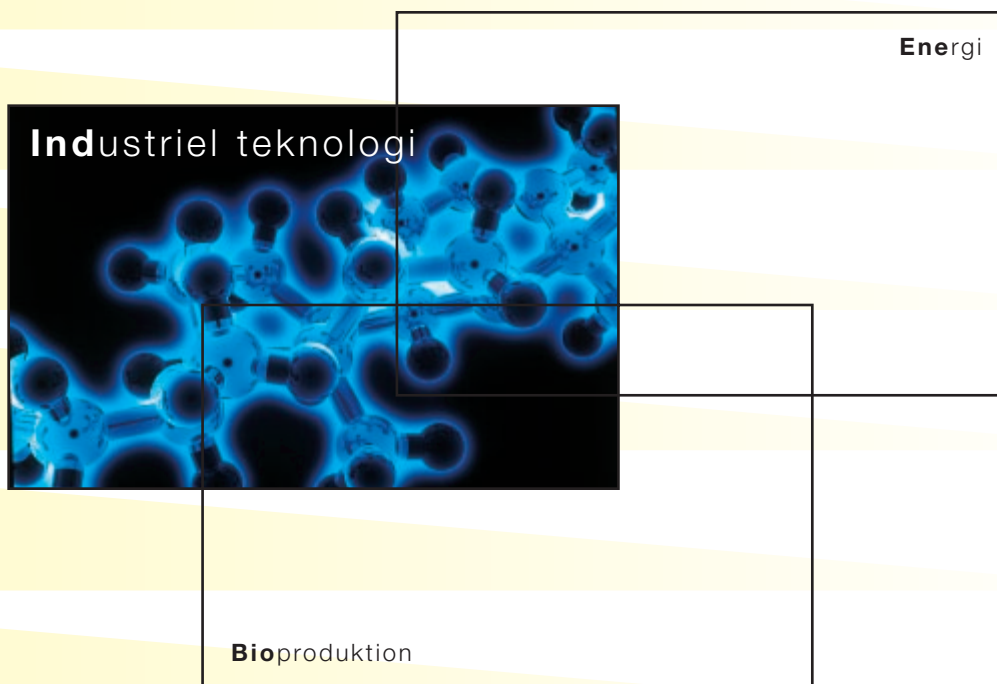
Fra Umeå i Nordsverige til Rom i syd er 30 skove udvalgt til at deltage i det store EUROFLUX-netværk. Siden 1996 har forskere fra hele Europa arbejdet sammen for at undersøge, i hvor høj grad skovene modvirker drivhuseffekten ved at binde kulstof efter optagelse af CO<sub>2</sub>. Planternes nettoudveksling af CO<sub>2</sub> måles med den såkaldte eddy-correlationsteknik, hvor luftens CO<sub>2</sub>-koncentrationer bestemmes 10 gange i sekundet samtidigt med, at man måler den vertikale lufthastighed. Den danske målestation ligger ved Sorø, og herfra sender avanceret måleudstyr data til computere på Risø døgnet og året rundt. Planter optager kulstof via fotosyntese og afgiver kulstof via respiration. Analyser af data fra 15 europæiske målestationer bekræfter, at de fleste europæiske skove årligt optager mere kulstof, end de afgiver, og derfor er med til at afhjælpe drivhuseffekten. Men variationen er stor. Det viser sig, at kulstofbindingen stiger med faldende breddegrad. Den italienske skov er for eksempel en af de skove, som binder mest kulstof i løbet af et år, mens de danske skove binder meget mindre, og nogle svenske skove kan ligefrem afgive kulstof til atmosfæren. Forskerne har også vist, at det er respirationen, som er afgørende for nettokulstofbalancen, idet den totale kulstofoptagelse stort set er uafhængig af breddegraden, mens kulstofafgivelsen, altså respirationen, er større nordpå. Denne sammenhæng skyldes sandsynligvis, at respirationen blandt andet er afhængig af fugtighed. Knaphed på vand i Sydeuropa om sommeren får respirationen til at gå i stå. I de kommende år fortsætter målingerne, og de indsamle-

de data skal blandt andet bruges til at udvikle modeller, som kan forudsige, hvordan økosystemerne vil reagere på fremtidens klimaforandringer.

### Vejene til bedre klimamodeller går også via Mars

Klimamodeller er forskernes vigtigste redskab til at forudsige, hvad der sker, når vi sender store mængder ekstra drivhusgasser ud i atmosfæren. En klimamodel beskriver matematisk, hvad der foregår i atmosfæren i stor skala. Klimamodeller bruges til at beskrive den generelle udvikling for hele jordens klima. Mars-ekspeditionerne bidrager til at vurdere modellerne. Meteorologer fra Risø var med i det af NASA etablerede science team, der instrumenterede Pathfinder og lagde en målestrategi, og de har siden arbejdet med at analysere målingerne. Sammen med data fra de første Mars-landinger i 60'erne er dette de eneste direkte målinger, der findes fra en ikke-jordisk atmosfære, og de giver forskerne en chance for at vurdere deres modeller og analyser og forstå bevægelserne i jordens atmosfære endnu bedre. Når det har taget flere år at analysere dataene fra Pathfinder, er det blandt andet fordi, hastighedsmålingerne helt tydeligt var forkerte. Der skulle et intetst arbejde med at recalibrere en kopi af vindsensoren i et kunstigt Mars-rum til at rette op på tallene. Risøs meteorologer deltager også i kommende Mars-missioner, der er planlagt frem til 2007.





*Risøs indsats inden for industriel teknologi skal medvirke til at skabe udvikling og økonomisk vækst i dansk erhvervsliv. Forskningen vil i de kommende år blive præget af en tværgående indsats inden for nanoteknologi. Målet er at skabe nye, langsigtede udviklingsmuligheder og synergi inden for materialer, optik og sensorsystemer samt plantebioteknologi.*

### Ny teknologi på nanoskalaen

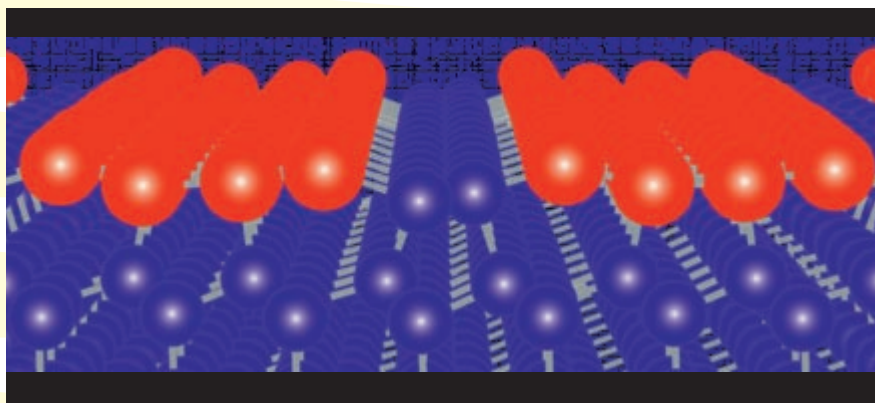
#### Nanoledninger byder på overraskelser

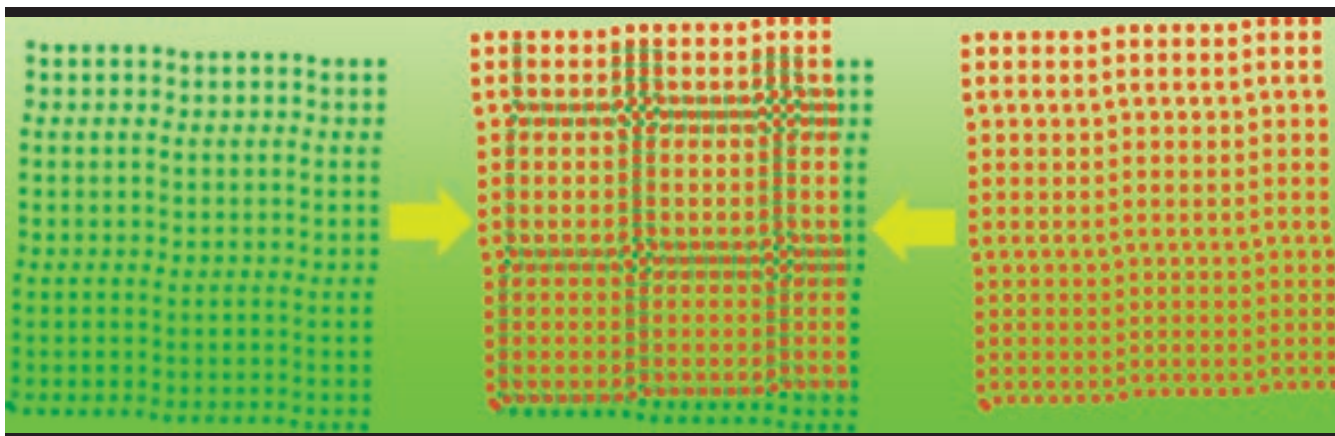
Elektroniske mikrochips finder vej ind i stadig flere produkter. Udviklingen går mod mikrochips, der yder mere, men fylder mindre. Endemålet er at gøre de elektroniske komponenter så små, at de må bygges direkte på molekyler og atomer skala. Denne skrumpning til nanoskala har dramatiske effekter på elektronikken, for på det atomare niveau gælder helt andre

fysiske spilleregler end i den synlige verden. På nanoskalaen hersker kvantemekanikkens regler, og selv i en simpel ting som en elektrisk ledning må man tage hensyn til kvanteeffekter. Når ledningen er i nanostørrelse, bliver fysikkens verden mere kompliceret og genstand for intense undersøgelser. Nanoledninger kan fremstilles ved molekyler selvorganisering efter samme princip, som naturen bruger, når den skaber for eksempel smukke krystaller. Atomer og molekyler vil således of-

te af sig selv danne velorganiserede mønstre, når de anbringes på en overflade. En få nanometer-tynd ledning fremstiller således sig selv ud fra indium- og siliciumatomer ved at rækker af indiumatomer arrangerer sig i lange baner, adskilt af rækker af siliciumatomer. En gruppe Risø-forskere har for nylig vist, at en nanoledning af denne type totalt ændrer egenskaber, når den køles ned til temperaturer under -180 grader C. Atomerne flytter plads, og de strukturelle ændringer får ledningerne

Udviklingen går mod mikrochips, der yder mere, men fylder mindre. Endemålet er at gøre de elektroniske komponenter så små, at de må bygges direkte på molekyler og atomer skala. Det kræver tilsvarende små ledninger. En gruppe Risø-forskere har for nylig vist, at i en sådan nanoledning flytter atomerne plads, og de strukturelle ændringer får ledningerne til at vekselvirke med hinanden.





Læg to siliciumkrystaller sammen og drej de to siliciumkrystallers gitter lidt i forhold til hinanden. Så har man en tommestok i nanostørrelse, hvis skala kan varieres afhængig af drejningsvinklen mellem krystallerne.

til at vekselvirke med hinanden. Undersøgelserne er udført ved hjælp af røntgenspredningsteknik.

**Tommestok i nanostørrelse**

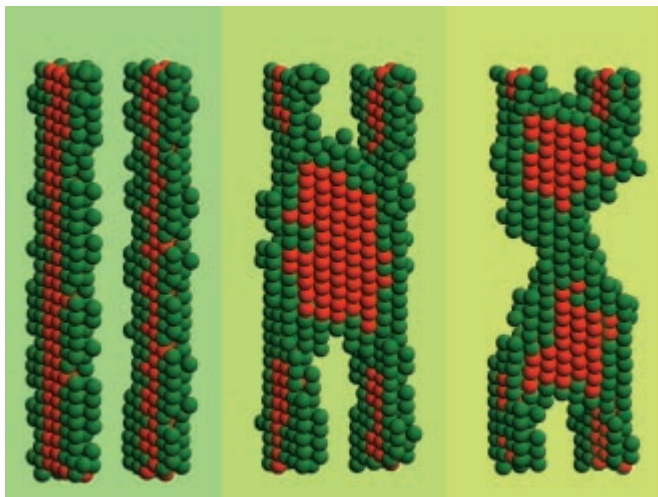
Materialer får nye optiske og elektroniske egenskaber, når de fremstilles i ekstremt lille målestok. En nanometer er en milliontedel af en millimeter, og italienske forskere har vist, at nanometerstore siliciumpartikler kan udsende lys og sågar bruges til at frembringe laserlys, hvilket er noget, som har et enormt anvendelsespotentiale i kommunikationsteknologien. Problemet er at fremstille siliciumpartiklerne med en bestemt størrelse og arrangere dem på et gitter; men her kan man udnytte, at man kender den atomare målestok i krystallers gitterstrukturer. Man

kan føje to helt plane og rene siliciumkrystaller sammen ved et svagt pres og efterfølgende opvarmning. Denne proces kaldes 'bonding'. Hvis man drejer de to siliciumkrystallers gitter i forhold til hinanden og lader dem 'bonde', opstår der et interferensmønster i grænsefladen mellem dem med en periode, som kan kontrolleres gennem drejningsvinklen mellem de to krystaller. Hermed har man et værktøj til mønsterdannelse på nanometerskala, der kan bruges som skabelon til at frembringe nanopartikler af en bestemt størrelse med en bestemt periode. At mønsteret virkelig eksisterer, kan ses ved hjælp af synkrotronrøntgenstråling. Men bondingen skal foretages i et absolut rent rum, og den ene af de to krystaller skal være uhyre tynd, for ellers forbliver mønsteret

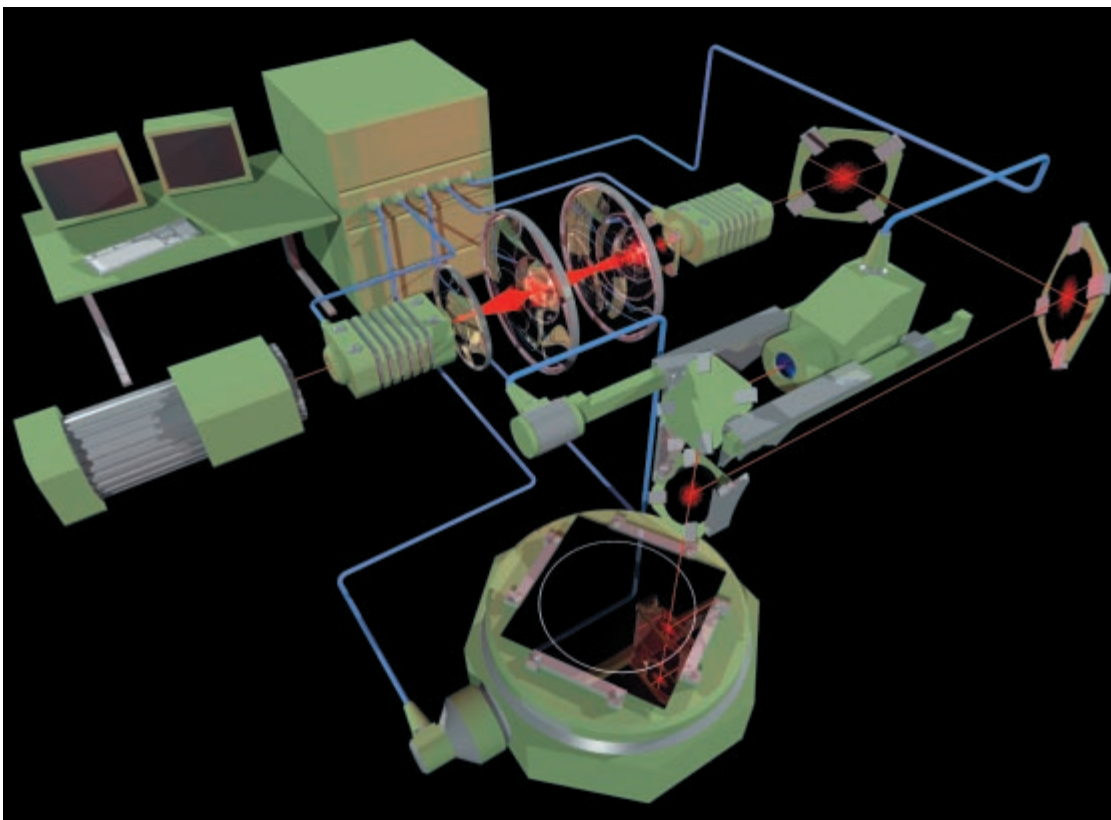
på grænsefladen og kan ikke ses. Risø har i 2000 påvist, at mønsteret kommer frem på overfladen, hvis man bonder en krystal på 0,3 mm med en på kun 5 nanometer. Arbejdet er udført sammen med Mikroelektronik Centret, som har renrums- og procesfaciliteterne, og Topsil, der leverer siliciumkrystallerne.

**Computersimulering på atomar skala skaber bedre materialer**

Nye resultater fra Risø's forskere vil på længere sigt bidrage til mere præcise forudsigelser af maskinkomponenters levetid og til udvikling af mere træthedsresistente metaller. Et nyerhvervet teoretisk kendskab til den såkaldte krydssliphypothese vil nemlig blive anvendt i modelleringen af metaltræthed. Det vil koble processer



Computersimulering af metaller deformation har ført til et teoretisk gennembrud, som kan bidrage til mere præcise forudsigelser af maskinkomponenters levetid. Illustrationen viser tre trin i den proces, hvor to såkaldte skrue-dislokationer løber sammen ved krydsslip og til sidst ophæver hinanden (forsvinder). Farvede atomer repræsenterer uregelmæssigheder i den atomare opbygning. Regelmæssigt placerede atomer er usynlige.



Sådan ser en skrivemaskine til nanotekst ud. Denne nanoploter kan skrive op til 700 adskilte linjer ved siden af hinanden på bredden af et enkelt hår. For forskningscentret DERA i England skriver man således hologrammer til simulering af tredimensionale computerskærme, så CAD-CAM designere kan se deres tegninger i 3D, mens de arbejder på dem.

på atomar skala (nanometerskala) til de eksisterende modeller, der går ned til processer på mikrometerskala. Bag de nye resultater ligger omfattende computersimuleringer af processer på atomar skala i metaller, som deformeres plastisk, dvs. at man deformerer dem så meget, at de ikke kan vende tilbage til deres oprindelige facon. Plastisk deformation af metaller foregår ved, at en mangfoldighed af dislokationer, dvs. linjeformede uregelmæssigheder i den atomare opbygning, bevæger sig rundt i metallet. Nogle af disse er skruedislokationer, som kan indgå i en proces, der kaldes krydsslip. Krydsslip kan blandt andet føre til, at to skruedislokationer kan løbe sammen og 'ophæve' hinanden og begge forsvinde. Det har længe været kendt, at krydsslip er af stor betydning for eksempel for udviklingen af metaltræthed. Sammen med forskere fra DTU har Risø-forskere arbejdet med at modellere krydsslipprocessen på atomart niveau med særligt henblik på at udlede, hvor hyppigt krydsslip finder sted. Hyppigheden bestemmes af en såkaldt Arrhenius-ligning med to dele: en ekspon-

ponentialdel og en præeksponentialfaktor. Først blev eksponentialdelen undersøgt, og nu er præeksponentialfaktoren blevet bestemt ved computersimulering af to skruedislokationer, der ophæver hinanden ved krydsslip i en computer-model med ca. 130.000 atomer. Det er første gang, man på atomar basis har bestemt præeksponentialfaktoren for en så kompliceret proces som krydsslip.

#### Skrivemaskine på nanoskala

I et rent, støvfrit rum på Risø står en såkaldt nanoploter, som er i stand til at skrive op til 700 adskilte linjer ved siden af hinanden på bredden af et enkelt hår. Nanoplotten bruges for eksempel til at skrive de optiske gitre, man bruger til fremstilling af hologrammer. For forskningscentret DERA i England skriver man således hologrammer til simulering af tredimensionale computerskærme, så CAD-CAM designere kan se deres tegninger i 3D, mens de arbejder på dem. I et projekt i Center for Miniaturisering af Optiske Sensorer (MINOS), støttet af Sensor Technology Center A/S, fremstilles optiske dif-

fraktionsgitre til optiske målesystemer, nogle af dem er beskyttet af patenter. Nanoplotten bruges også til at fremstille fasefiltre til de optiske pincetter, som er omtalt andetsteds i denne årsberetning, ligesom den udnyttes i forbindelse med udvikling af kunstige muskler, som også er omtalt i denne årsberetning. Nanoplottens funktion kan sammenlignes med en gammeldags pladespiller, hvor en skive drejer rundt med konstant hastighed, mens rillerne aftastes af en nål. Skiven, man skriver i, kan være en lysfølsom lak eller sølvfilm, der i princippet svarer til en almindelig sort/hvid fotografisk film, og skrivehovedet skriver med lys. Gitterstrukturen, der skal skrives, beregnes i en computer, som er i stand til at håndtere de ofte meget store datamængder. Data overføres til et interface, som også får input fra den roterende skive, så mønstrene præges det rigtige sted på skiven. Nanoplotten kan generere meget præcise og veldefinerede overfladestrukturer, herunder bløde sinusformede strukturer.

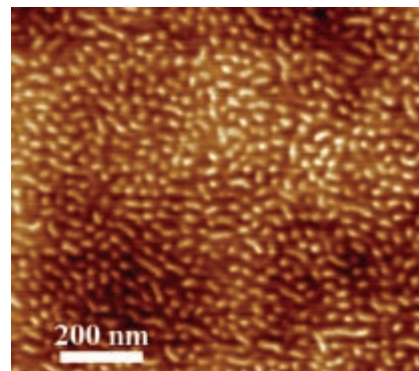
**Live 3D-billeder fra metallernes mikrounivers**

Før en klump rå metal bliver til et brugbart produkt, er metallet bearbejdet kraftigt på mange måder. Det vales og presses, opvarmes og afkøles. Disse processer har stor indflydelse på de milliarder af små korn, som et metal består af. Kornene ændrer form og nedbrydes, og nye korn dannes. Egenskaberne af det færdige produkt – dets styrke og levetid – afhænger meget af strukturen af disse korn. Med et nyt udstyr udviklet på Risø kan man nu 'videoptage', hvad der sker med de enkelte metalkorn under bearbejdningen. Instrumentet udnytter de kraftige røntgenstråler fra røntgenanlægget på det fælles-europæiske forskningscenter ESRF i Grenoble. Gennem avanceret optik sendes røntgenstrålen ind gennem metallet. Strålen 'affotograferer' en skive, der ikke er mere end én mikrometer eller ca. 10.000 atomer tyk. Derpå flyttes strålen én mikrometer og der tages et nyt snapshot. Sådan fortsættes lag for lag, lagene analyseres hver for sig og til sidst lægger man så at sige resultaterne oven på hinanden og får et 3D-billede af metalkorne. Hvert korn har et unikt fingeraftryk, som de avancerede computerprogrammer, der er udviklet til at tolke billederne, nemt genkender. Resultaterne kan bruges til at forbedre de modeller, der beskriver materialernes opførsel, og som sammen med andre opdagelser giver input til ingeniørerne, når de skal konstruere nye produkter. Instrumentet er tilgængeligt for alle, herunder industrien.

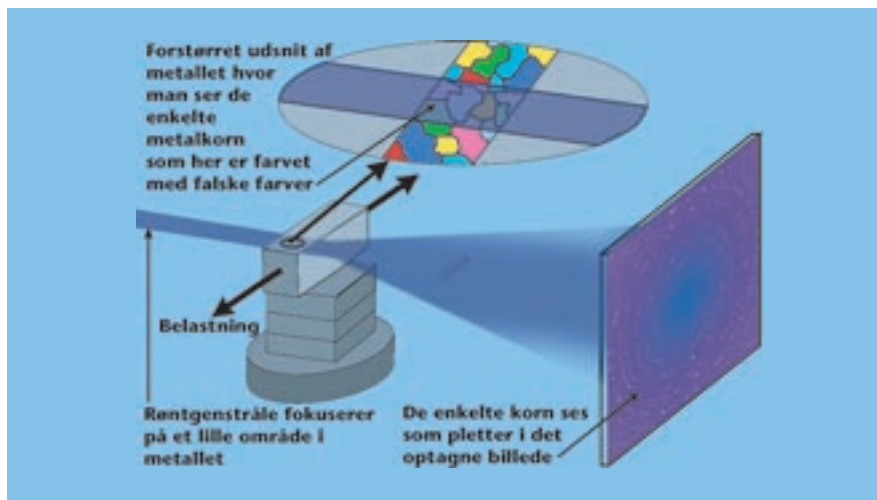
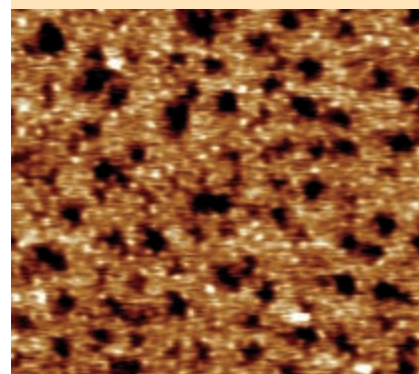
**Polymermaterialer**

**Center for overfladeanalyse godt fra start**

Plaster er ikke bare plaster. Plastre til ligesår skal sidde nogenlunde fast i længere tid under sårets heling, men når de skiftes, skal de slippe let, så den følsomme nye hud ikke beskadiges. Plastre til stomiposer skal holde absolut tæt i kortere tid, men de behøver ikke at slippe deres klæbning på normal hud så let. Kravene til plastres klæbestoffer varierer altså meget. Kemikernes universalløsning hedder blok-copolymerer, der er molekyler sat sammen af to halvdele, hvoraf den ene halvdel er hård og den anden er blød. Samtidig kan de to halvdele 'ikke lide hinanden' rent kemisk, hvorfor den slags molekyler helst vil skille ad. Resultatet er et gummimateriale, hvor man kan tilsætte andre stoffer til den bløde del. Plaster bliver til ved, at man tilsætter en olie, som gør gummiet klæbende. Denne klæbende gummi kan man belægge hele plastret med, selv hen over selve såret. Til sidst tilsættes hydrocolloider, fugtsugende stoffer som holder såret fugtigt, hvilket også fremmer helingsprocessen. I Center for Overfladeanalyse arbejder man blandt andet på at skabe en forståelse for, hvordan man på nanoskala kan styre disse processer og dermed give plastret præcis de egenskaber, man ønsker. Projektet udføres i samarbejde med Coloplast.

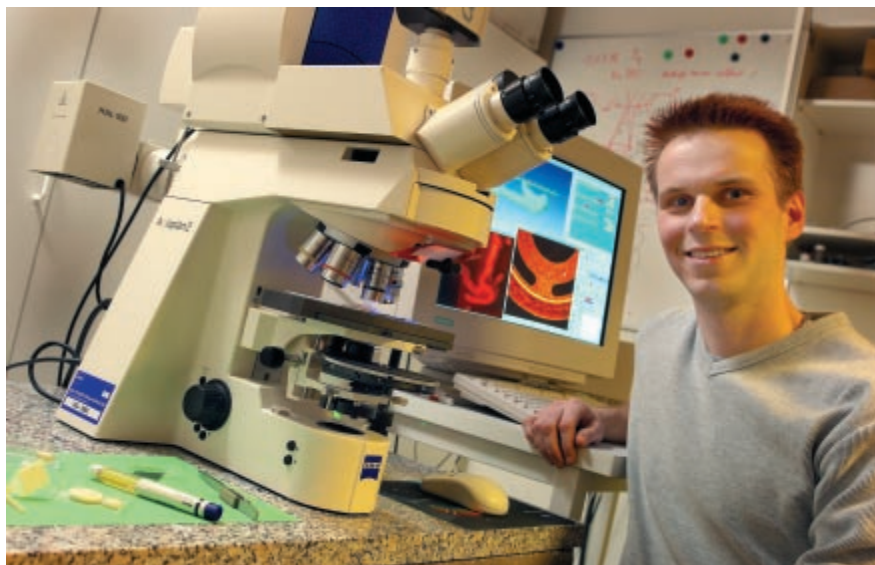


Nogle typer plaster bliver til ved, at man tilsætter en olie til en gummibasis, som gør gummiet klæbende, samt hydrokolloider, fugtsugende stoffer, som holder såret fugtigt. Her ses Atomic Force Mikroskopi billeder af strukturer i gummimaterialet før (billedet med indsat måleskala) og efter tilsætning af tilsætningsstofferne.



Med et nyt udstyr udviklet på Risø kan man nu 'videoptage', hvad der sker med de enkelte korn undervejs. En røntgenstråle 'affotograferer' de enkelte korn, og ved hjælp af avancerede computerprogrammer kan man følge, hvordan hvert korn roterer og brydes op under bearbejdningen.

Seniorforsker Niels Bent Larsen ved Risøs nye konfokale mikroskop, som kan afbilde og sætte mål på såvel emners ydre form som den rumlige fordeling af ting inde i emnerne. Foran mikroskopet er vist en række eksempler på undersøgte emner hentet fra forskning og samarbejde med industrien.



BOYE KOCH

### Fremdrift og visioner i Dansk Polymercenter

Dansk Polymercenter, der blev dannet i 1999 som et udvidet samarbejde mellem Risø og DTU, har i 2000 konsolideret sig både på det materielle og visionære plan. I slutningen af året flyttede de to involverede DTU-grupper sammen i nyrenoverede laboratorier, og på Risø samledes Polymercentrets medarbejdere i én afdeling under centerets leder. Der blev holdt et fælles værdiprojekt, hvor alle centerets medarbejdere i løbet af tre heldagsseminarer arbejdede med værdier og visioner for Polymercentret. Risøs personalefunktion var aktivt medvirkende til igangsættelsen af projektet. Med en hovedvision om at være et af Europas toneangivende polymerforskningscentre har Polymercentret lagt en ambitiøs kurs, og de mange projekter, der er startet i 2000, er et skridt i den retning: Fem nye ph.d.-projekter, det ene i samarbejde med Århus Universitet, 10 nye forskningsprojekter, enkelte med udenlandske post docs og gæsteforskere, og et talentprojekt, som skal skabe den videnskabelige basis for solceller af plast. Endelig er der indgået en centerkontrakt under Erhvervsfremmestyrelsen i samarbejde med FORCE Institutet og 10 større virksomheder. Den handler om at skabe en dybere forståelse af de molekylære nedbrydningsprocesser og leder dermed frem mod mere holdbare plastprodukter. Dansk Polymercenters web-adresse er: [www.polymers.dk](http://www.polymers.dk).

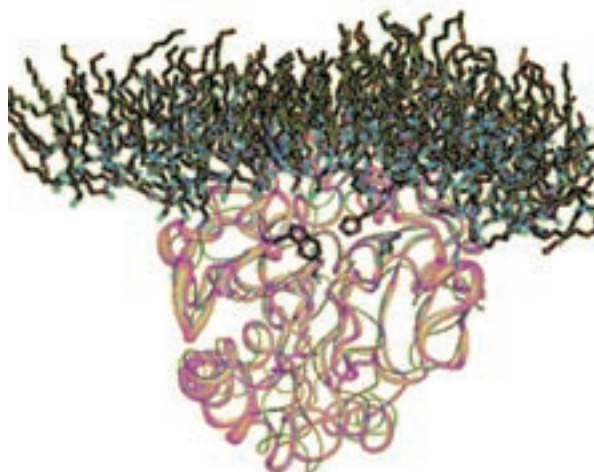
### Hvordan enzymer klipper i fedt

Hvordan nedbryder enzymer fedtmolekyler? Det er undersøgt i et europæisk samarbejdsprojekt mellem ti universiteter og forskningsinstitutioner i Europa, hvoraf de danske aktører var Novo, Københavns Universitet, DTU og Risø. Risøs bidrag har været at karakterisere vekselvirkningen mellem enzym og fedtmolekyler på molekylært niveau ved hjælp af røntgendiffraktion. Til det formål har man studeret et modelsystem bestående af et enkelt lag fedtmolekyler, som flyder på en vandoverflade. De fedtnedbrydende enzymer, de såkaldte lipaser, er tilsat vandet og vil straks starte omdannelsen af fedtmolekylerne, hvilket kun giver relativ kort tid til at studere fænomenet. Novo har derfor udviklet forskellige inaktive lipaser, som tiltrækkes af fedtlaget uden at nedbryde det. Dermed har Risøs forskere bedre kun-

net studere fænomenerne. Enzymerne udnyttes i vaskepulver, hvor de klipper store fedtmolekyler i mindre stykker, som derefter lettere kan opløses.

### Rene organiske stoffer til medicinsk diagnostik

Risø har i 2000 forlænget sin kontrakt med det hollandsk/amerikanske medicinalfirma Malinckrodt Medical. Malinckrodt producerer radioaktivt mærkede farmaceutiske produkter til diagnostisering af sygdomme ved hjælp af sporstoffer, såkaldt nuklear medicin. Risø udvikler og fremstiller rene organiske stoffer til Malinckrodt, som derefter selv står for den radioaktive mærkning. Risø har udviklet tre forskellige stoffer og har et undervejs. Ud over en kommerciel indtægt giver samarbejdet Risø mulighed for at opretholde og udvikle en betydelig kompeten-



Hvordan spiser fedtnedbrydende enzymer egentlig fedt? Det er undersøgt på Risø. Her ses en computergrafik, der forestiller et lipasemolekyle under et monolag af fedtmolekyler.

ce indenfor organisk syntese. Stofferne skal fremstilles efter de såkaldt GMP-regler (Good Manufacturing Practice of the Pharmaceutical Industries), og Risø har derfor opbygget et laboratorium, der lever op til disse krav.

## Optik og sensorteknologi

### Store sygejournaler på små sikre plastkort

Et frugtbart samarbejde mellem firmaet Optilink og Risø har i 2000 resulteret i et plastkort på størrelse med et almindeligt kreditkort med en lagringskapacitet på 10 megabyte. De første kunder, der skal sættes på, bliver sundhedssektoren. Kortet er bærbart og giver dermed let adgang til oplysninger overalt i verden. Desuden vil kortet give større sikkerhed mod, at personlige oplysninger havner under et forkert navn, og garantere, at private helbredsdata forbliver private. Lagringsmediet består af en tyndfilm af plastmaterialet polyester. Informationerne gemmes i polyesterfilmens overflade i form af hologrammer, og indlæses og aflæses ved hjælp af laserstråler. Hologrammerne kan slettes ved at opvarme filmen til 80 grader, hvorefter lagringsmediet kan genbruges. Forskerne forventer, at de i løbet af et par år kan forøge lagringskapaciteten fra 10 til 30-40 megabyte pr. kvadratcenti-

meter. Optilink har overtaget Risøs patenter på lagringsmediet og står for udvikling af prototyper og kommercielle systemer, mens Risø-forskerne videreudvikler materialet.

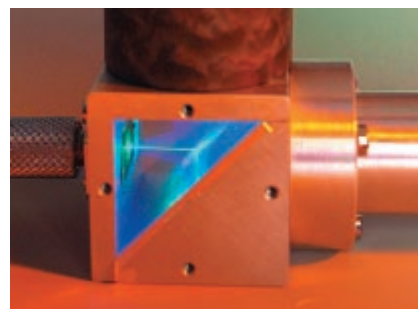
### Billige lasere til den grafiske industri

I den grafiske industri er fremtidens krav 'print-on-demand' eller 'tryk på bestilling'. Den mest avancerede print-on-demand-teknologi er den såkaldte intern-tromleteknologi, som også er den dyreste. De nødvendige præcisionslasere koster omkring 200.000 kr. stykket. Risø har med økonomisk støtte fra det grafiske firma Purup-Eskofot udviklet en laser, som opfylder kravene til stabilitet, holdbarhed og fokusering, men som kun koster en femtedel af de nuværende præcisionslasere. Målet for arbejdet har været at omdanne de dårligt fokuserede lysgler fra billige laserdioder til snævre laserstråler med god fokusering. På det punkt har Risø opnået resultater, som er epokegørende på verdensplan. Samtidig er laserdiodes bølgelængde på kun 830 nanometer, hvilket giver en høj tryk kvalitet. Purup-Eskofot satser nu et stort millionbeløb på den videre udvikling i de næste to år. Udviklingsmålene er at forøge laserdiodes lysstyrke og afprøve systemet under realistiske forhold i Purup-Eskofots trykkeri i Ballerup. Hvis det lykkes at udvikle billige kva-

litetslasere, vil intern-tromleteknologien blive mere attraktiv end i dag. Trykkerierne vil kunne købe et lasersystem, der kun koster en femtedel af de nuværende lasere, og samtidig vil kvaliteten blive bedre.

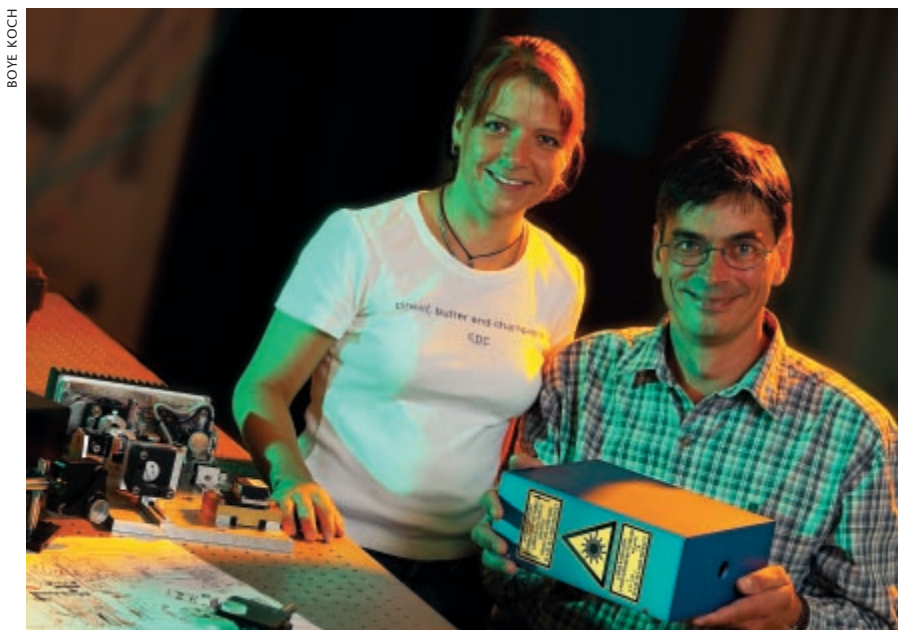
### Dokumenterer korrekt strålebehandling af cancerpatienter

I forbindelse med strålingsterapi af cancerpatienter er det vigtigt at måle den strålingsdosis, patienten modtager. Risø har udviklet en målesonde baseret på optisk stimuleret luminescens (OSL). Målesonden kan føres ind i kroppen, placeres tæt på det syge væv og måle den strålingsdosis, vævet modtager, mens behandlingen foregår. En prototype er færdig, og Risø skal i samarbejde med Lunds Universitetshospital, som råder over et verdenskendt strålingsbehandlingscenter, videreudvikle og afprøve målesonden.



BOYE KOCH

Risø skal i samarbejde med Lunds Universitetshospital, som råder over et verdenskendt strålingsbehandlingscenter, videreudvikle og afprøve en målesonde til kontrol af strålebehandling af cancer. Her ses et udsnit af udstyret. Man ser den grønne stimulerings-laserstråle og det reflekterede blå OSL signal.



BOYE KOCH

Paul Michael Petersen (th.) og Sussie Juul Jensen fra Afdelingen for Optik og Fluid Dynamik viser prototypen af en gitterlaser, som Purup-Eskofot har investeret i at få videreudviklet.

POLFOTO



En stålfjeder til en mindre godsvogn vejer 120 kg, mens en glasfiberkompositfjeder kun vejer 40 kg. Det betyder mindre støj, mindre slitage og mindre energiforbrug.

## Konstruktionsteknologi

### Togvogne med fjedre af glasfiber

Fordele ved at benytte fiberforstærkede fjedre i stedet for bladfjedre af stål er en meget stor vægtbesparelse, bedre dæmpningsegenskaber og konstante fjederens egenskaber gennem hele fjederens levetid. En stålfjeder til en mindre godsvogn vejer 120 kg, mens en glasfiberkompositfjeder kun vejer 40 kg. De konstante fjederens egenskaber og den større dæmpning giver en mere stabil og afdæmpet afjedring over tid, hvilket blandt andet resulterer i mindre støj og mindre slitage på såvel togvogn som skinner. Udvikling af

fjedrene afsluttes i begyndelsen af 2001, og erfaringerne herfra skal bruges til at udvikle et integreret bogie-fjeder-system i glasfiberkomposit. Risø deltager i et europæisk projekt koordineret af EUREKA (European Research Coordination Agency) med deltagelse af industrier og forskningsinstitutioner fra Danmark, England, Tjekkiet og Letland. I Danmark deltager EM Fiberglas A/S, som står for udvikling af fremstillingsteknologi og produktion, mens Risø tager sig af afprøvning af fjedre samt karakterisering af materialegenskaber som udmattelse, dæmpning og slagpåvirkning.

### Tester materialers kvalitet

Når en virksomhed ønsker at anvende et nyt materiale i en del af deres produktion eller har nydesignede komponenter, som de vil sætte i produktion, kan de bestille en prøvning af materialets og komponentens egenskaber. Den kan for eksempel klarlægge, hvor tykt et stål skal være for at klare et bestemt tryk, hvor stor en mekanisk belastning et nyt materiale kan holde til, eller hvilke levetider man kan forvente. Risø er akkrediteret af DANAK til opgaven. Det betyder både, at man kan regne med et pålideligt resultat af målingerne, og at der skal være aftalt en afleveringsdato inden for en uge. Det er typisk større virk-

somheder, der ønsker en specialiseret assistance, som får foretaget målinger på Risø, mens for eksempel mere rutinemæssige opgaver ofte vil kunne henvises til konsulenter og de teknologiske institutter. Risøs mål med at påtage sig den slags opgaver er at lære virksomheder, deres materialer og behov at kende for efterhånden at kunne knytte dem til sig som kernekunder. Disse kunder kan bruge Risø til et uddybet forsknings- og udviklingssamarbejde og som sparringspartnere i processen med at optimere materialevalget i deres produkter.

## Risiko og sikkerhed

### Dansk byggenorm klarer en 400 års storm

Stormen den 3. december 1999 var en såkaldt 400 års storm, det vil sige en storm, der var så kraftig, at den i gennemsnit kun forekommer med 400 års mellemrum. Risø har i samarbejde med Elsamprojekt, DMI og det rådgivende ingeniørfirma Svend Ole Hansen ApS analyseret alle tilgængelige vinddata fra den 3. december 1999. Med baggrund i de mange materielle skader, stormen forårsagede, var formålet at undersøge, om den danske byggenorm skulle ændres. Konklusionen på analysen er, at de største

BOYE KOCH



Mikrostrukturel karakterisering er et centralt værktøj ved undersøgelse af materialer, og Risø råder over to transmissionselektronmikroskoper (TEM), tre skanningelektronmikroskoper (SEM) og adskillige lysmikroskoper. Mikroskoperne er udstyret med avanceret analyseudstyr, der fx kan bruges til at bestemme den krystallografiske orientering eller den kemiske sammensætning i meget små områder. Afdelingen har netop købt et nyt avanceret 300 kW TEM, som vil blive leveret i efteråret 2001. Mikroskopet vil indgå i et elektronmikroskopcenter for danske forskningsinstitutioner og industrivirksomheder. Her ses ph.d.-studerende Lars Mikkelsen ved et af Risøs skanningelektronmikroskoper.

NORDFOTO



Analyser af stormen den 3. december 1999 viser, at det ikke er nødvendigt at ændre på vindhastighederne i byggenormen, men at byggenormens anvisninger skal efterleves, da langt de fleste skader er sket i bygninger, som ikke levede op til anvisningerne.

overskridelser i forhold til de karakteristiske vindhastigheder var 15 procent. Det svarer til et forøget lastniveau på bygninger på ca. 30 procent. Da bygninger skal kunne holde til vindlaste, der er 50 procent større end de karakteristiske, er sandsynligheden for skader meget lille. Det er derfor ikke på baggrund af en storm nødvendigt at ændre vindhastighederne i normen. Det er til gengæld vigtigt, at byggenormens anvisninger efterleves, da langt de fleste skader er sket i bygninger, som ikke lever op til anvisningerne.

NORDFOTO



Ved systematisk at klassificere de fejl, flyveledere begår, kan man sætte ind på de områder, hvor der er bedst mulighed for at opfange nye fejl.

### Forskning for færre flyvelederfejl

Et nyt system til at klassificere de fejl, flyveledere begår, gør det muligt at sætte ind med konkrete tiltag på de områder, hvor der er bedst mulighed for at opfange nye fejl. Systemet er udviklet af Risø sammen med det engelske National Air Traffic Service og det europæiske samarbejdsorgan for flyveledelse, Eurocontrol. Generelt kan man sige, at en fejl er en handling eller en undladelse af en handling, som fører til uønskede konsekvenser, og som kunne og burde have været undgået. Netop ordet burde give problemer, fordi det tilfører vurderingen et subjektivt element. Derfor har forskerne udarbejdet et klassifikationssystem, som kan gøre ud-

redning af fejl så objektiv som muligt. Klassifikationssystemet kan støtte udredningen af den enkelte episode. Samtidig er det lettere at finde eventuelle mønstre i flyveledernes fejl, når mange fejl er klassificeret ensartet efter systemet. Projektet er finansieret af Eurocontrol.

### To radiosystemer i ét til Øresundsforbindelsen

Lokomotivførere, som kører over Øresund, opererer i øjeblikket med to forskellige radiosystemer, fordi Danmark og Sverige bruger hver sin type. Danmark bruger det såkaldte MSR3-system til at etab-



STEEN WEBER



Førerhuset i DSBs tog over Øresundsbroen. Det venstre panel styrer det danske radiosystem, mobiltelefonen til højre det svenske. Risø-forskere udvikler et brugerpanel, der integrerer de to systemer.

lere kontakt mellem lokomotivfører og fjernstyringscentral, medens Sverige anvender GSM-R. DSB henvendte sig i begyndelsen af 2000 til Risøs Afdeling for Systemanalyse, hvor der blandt andet arbejdes med menneskelige faktorer i forhold til tekniske systemer, og i april 2000 indgik Risø en kontrakt med DSB om betjeningen af en prototype, der forener de to systemer i en fælles grænseflade. Fire

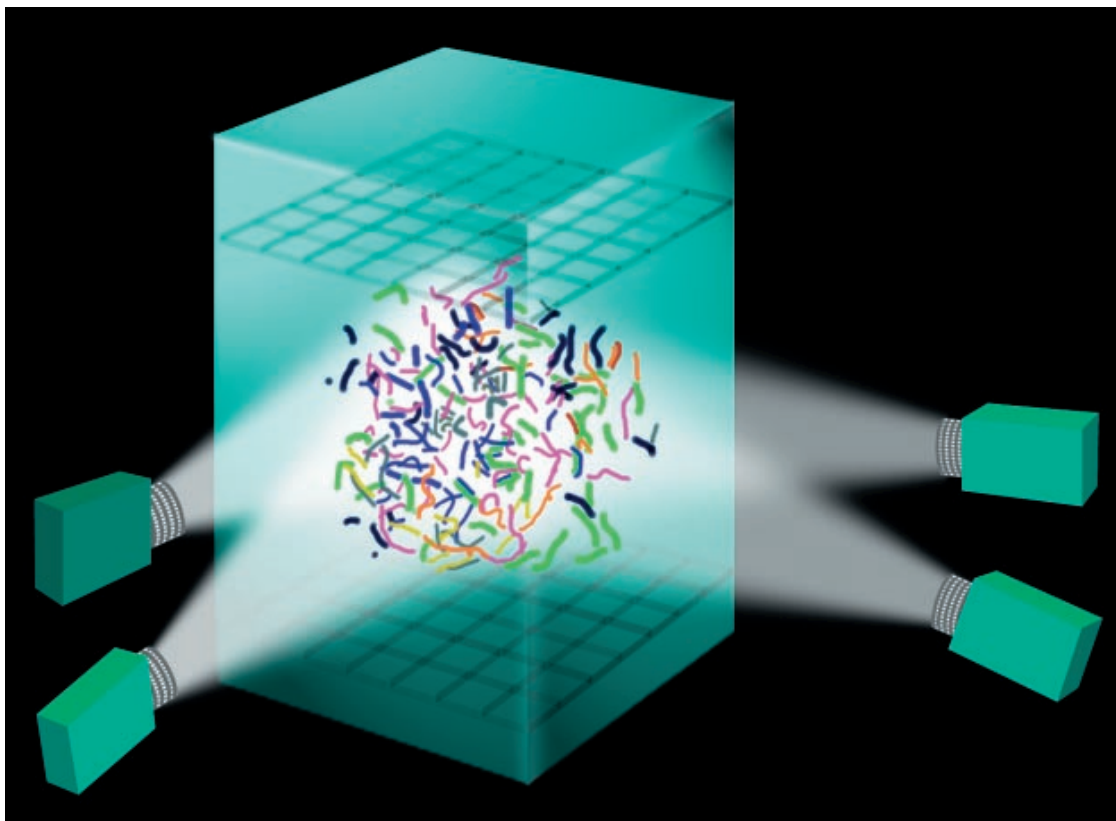
Risø-forskere har således i 2000 arbejdet med forskellige mulige udformninger af betjeningsflader, som er konsistente og nemme at bruge for lokomotivføreren. Prototyperne er løbende blevet diskuteret med DSB og SAIT-STENTO Danmark A/S, som skal producere dem, og i 2001 skal den endelige udgave evalueres af forskere og brugere i fællesskab.

Forskere i Risøs Afdeling for Systemana-

lyse arbejder med at lette arbejdet for Øresundsforbindelsens lokomotivførere ved at integrere betjeningen af to forskellige radiosystemer i en grænseflade.

**Et forsøg med turbulens gavner risikovurdering af farlige anlæg**

Ved risikovurderinger af anlæg, hvor eksplosive eller giftige stoffer kan spredes i luften efter et uheld, har man brug for matematiske modeller for, hvordan stofferne spredes i luften. Et af de store beregningsmæssige problemer er, at stofferne følger luftens turbulente bevægelser, så der lokalt kan opstå meget høje koncentrationer af stofferne. For eksplosive stoffer kan det medføre, at der indtræffer en eksplosion. For giftige stoffer kan det betyde forgiftning af mennesker, som opholder sig i området med forhøjede koncentrationer. På Risø er der nu gennemført eksperimenter med turbulent spredning af partikler. Som et resultat af forsøgene har Risøs forskere bestemt værdien af en konstant i et af de vigtige matematiske udtryk, der indgår i beregningerne. Det betyder, at man fremover kan be-



Forsøg der gavner risikovurdering af farlige anlæg: Med fire synkroniserede videokameraer optages stereoskopiske billeder af partikler, som hvirvles rundt i en tank. Billederne analyseres af specialudviklet software som rekonstruerer, hvordan partiklerne bevægede sig under eksperimenterne.

BOYE KOCH



Arne Miller fra Risø er formand for et udvalg under den europæiske standardiseringsorganisation CEN, som er ved at revidere standarderne for strålesterilisation af medicinsk udstyr.

regne mere præcist, hvordan forurening og farlige stoffer spredes i atmosfæren. Eksperimenterne udføres i en vandtank, hvor der skabes turbulens i vandet ved hjælp af to vibrerende gitre. Vandet til sættes flydende partikler, som følger vandstrømmen. Fire synkroniserede videokameraer optager stereoskopiske billeder af partiklerne. Billederne lagres online i digital form, og efterfølgende lader man specialudviklet software analysere billederne og rekonstruere, hvordan partiklerne bevægede sig under eksperimenterne. Projektet er støttet af STVF.

#### Forsvarlig destruktion af gammel ammunition

Risø har i samarbejde med konsulentfirmaet DEMEX som projektkoordinator, TNO (hollandsk organisation for anvendt naturvidenskabelig forskning), Ammunitionarsenalet og Kommunekemi sandsynliggjort over for blandt andet militære myndigheder, at der findes miljøforsvarlige, sikre og økonomisk rentable metoder til bortskaffelse af gammel ammunition. Mest lovende er metoder, som kan bruges

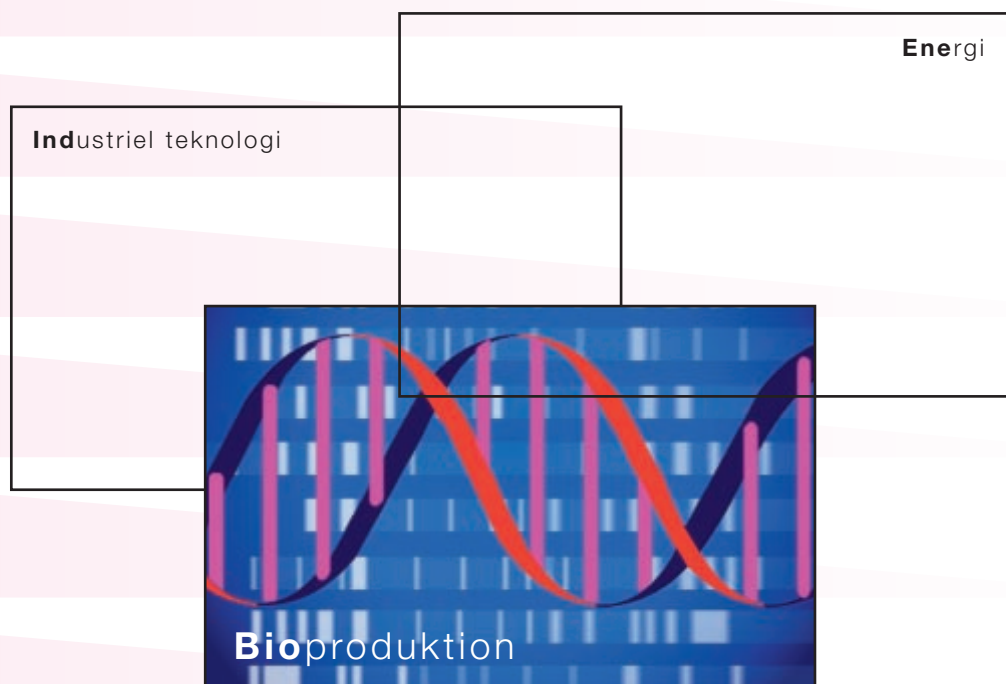
på stedet til at forvandle lagre af militær ammunition til ikke eksplosive reststoffer. Reststofferne kan så på almindelig vis fragtes til centrale forbrændingsanlæg for farligt affald. På disse anlæg renses røgen for de fleste skadelige gasarter, og dermed er de negative miljøpåvirkninger drastisk formindsket i forhold til ukontrolleret sprængning eller afbrænding.

### Industriel dosimetri

#### Strålesterilisering – akkreditering og nye standarder

Risø High Dose Reference Laboratory er akkrediteret af DANAK til at måle, om for eksempel medicinsk udstyr er bestrålet korrekt. Akkrediteringen er vigtig for Risøs kunder. Deres produkter skal nemlig overholde et EU-direktiv om fremstilling af medicinsk udstyr. Ifølge direktivet skal sterilisationen foregå med en anerkendt metode som strålesterilisation. De europæiske standarder EN 552 og EN 556 beskriver de krav, som virksomhederne skal opfylde. Blandt andet skal stråledoserne være 'sporbare og nøjagtige'. De gensidige af-

taler mellem akkrediterings-instanser i EU betyder, at Risøs certifikater anerkendes i hele Unionen. Certifikaterne anerkendes også af de amerikanske myndigheder, så en virksomhed, der vil eksportere til USA, undgår nye målinger hos en amerikansk institution. Denne stigende gensidige anerkendelse er et godt salgargument, som Risø kan bruge over for både danske og udenlandske kunder. Risø deltager også i at skabe verdensdækkende standarder for bestråling af medicinsk udstyr, hvor Risø har formandskabet for det udvalg under den europæiske standardiseringsorganisation CEN, som er ved at revidere standarderne for strålesterilisation af medicinsk udstyr.



Planten som fabrik bliver et centralt forskningsområde for Risø. Genteknologien gør det muligt at sætte gener ind i planter, så de kan fungere som fabrikker, der direkte og på miljøvenlig vis ved hjælp af solenergi fremstiller plast, biobrændstof, sukkerstoffer og lægemidler. Samtidig skal planteafgrøderne kunne ernære en voksende befolkning, uden at dyrkningsarealerne vokser, og uden at man er nødt til at gå på kompromis med kvalitet, næringsindhold og renhed. Alt sammen faktorer, der stiller store krav til fremtidens bioproduktion.

## Genteknologi

### Genteknologioverførsel til forædlingsfirma

Med støtte fra ATV (Akademiet for de Tekniske Videnskaber) har Risø i samarbejde med forædlingsfirmaet Pajbjergfonden haft succes med at etablere såkaldt markørstøttet selektion i praktisk bygforædling. I forbindelse med forædling af sygdomsresistente sorter er det en fordel at anvende molekulære markører. Molekulære markører er små dna-stykker, som sidder så tæt på selve resistensgenet, at de næsten altid nedarves sammen. Det vil sige, at har man det rette markørmønster, har planten også resistensgenet. Anvendelse af molekulære markører i resistensforædling har mange fordele. For det første kender man sjældent dna-sekvensen på selve genet, så det er naturligvis en fordel at kende en markør. Desuden kan selektion af resistente planter gennemføres i laboratoriet uden påvirkning fra miljø og uden tilstedeværelse af sygdoms-

men, som det er nødvendigt ved markforsøg. Planterne kan selekteres på et meget tidligt vækststadium, to blade er nok, og det er muligt at selektere hele året og ikke kun i vækstsæsonen. Pajbjergfonden arbejder blandt andet med gul mosaikvirus på byg, en sygdom som ikke findes i Danmark. Markforsøg skal derfor gennemføres syd for grænsen, hvilket naturligvis er besværligt. Når man bruger molekulære markører, kan hele processen foregå hjemme i laboratoriet i Danmark.

### Modelplanter sætter fart på genteknologernes arbejde

Arabidopsis er en lille plante, der findes vildtvoksende i den danske natur. Den har en lille arvmasse på kun 120 millioner baser og 26.000 gener. Den kan høstes 6-7 uger efter, den er sået, og den er nem at gensplejse. Disse fakta gør den velegnet som modelplante, dvs. en plante, hvor forskerne kan afprøve deres teorier om gens funktion på en nem og hurtig måde. Et lovende gen for sygdomsresistens i

byg kan således hurtigt afprøves i modelplanten, og er resultaterne tilfredsstillende, kan forskerne gå videre med mere langvarige forsøg i selve bygplanten. Alle 120 millioner baser er aflæst, og generne i Arabidopsis er kortlagt, men man kender kun funktionen for et fåtal af dem. Det næste ambitiøse mål er at finde funktionen for samtlige gener i planten. Via deltagelse i EU-projektet EXOTIC under 5. Rammeprogram er Risø med i dette store screeningsprojekt for at finde blomstringsgener og resistensgener. På Risø arbejdes også på at udvikle en ny modelplante, Brachypodium, som er en lille simpel græsplante. De første gensplejsede varianter af denne plante er ved at blive opformeret i Risøs laboratorier. Interessen for den beskedne græsplante skyldes, at den minder meget om rajgræs, korn og andre nytteafgrøder, som er i fokus i Risøs genteknologiske forskning, og samtidig har den mange af de egenskaber, som betinger en god modelplante. Forskernes ambitiøse endemål er at konstruere virtuelle

BOYE KOCH



Molekylære markører ruster danske forædlere til den internationale konkurrence. Her udvikler post doc. Gunter Backes sammen med laborant Annette Christensen nye markører for sygdomsresistens i byg.

planter, hvor man i kraftige computere kan forudsige hvilke genetiske ændringer, der er nødvendige for at forbedre planternes egenskaber. For at nå det mål skal man vide, hvad alle gener gør og samtidig skal man tage højde for alle de former for samspil, der findes mellem generne i de virkelige planter. I første omgang kortlægger man små brikker i de mange livsprocesser i planter og satser på at kunne modellere dem enkeltvis og i sammenhæng.

BOYE KOCH

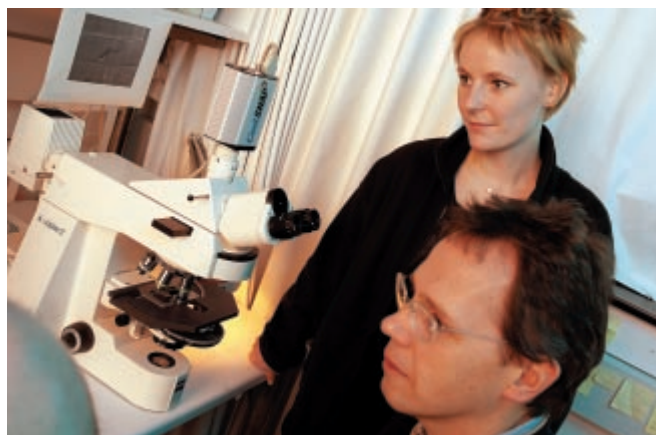


Arabidopsis (gåsemad) findes vildtvoksende i den danske natur. Den har en lille arvmasse. Den kan høstes 6-7 uger efter, den er sået. Den er nem at gensplejse. Disse fakta gør den velegnet som modelplante, dvs. en plante, hvor forskerne kan afprøve deres teorier om geners funktion på en nem og hurtig måde.

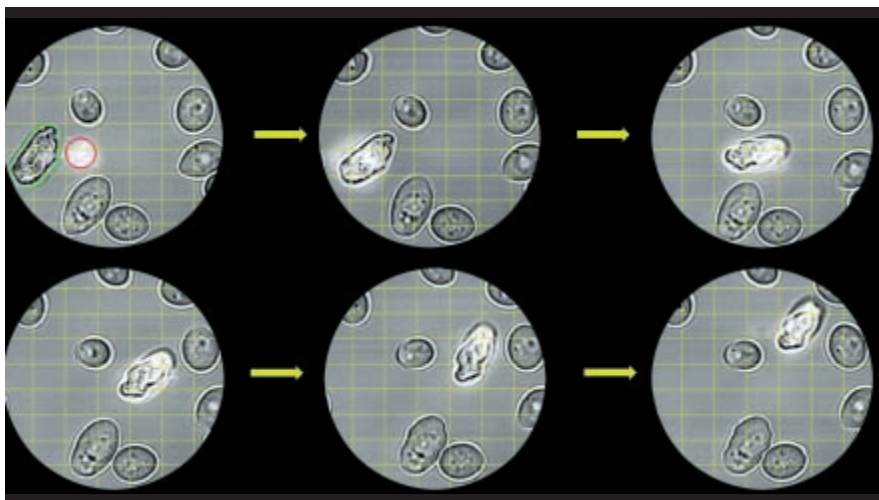
### Lyspincetter manipulerer celler

Et af biologernes store ønsker er ved at gå i opfyldelse: At kunne sidde bøjet over mikroskopet og vende og dreje en enkelt celle eller sortere en bestemt slags celler fra de andre. Det kan lade sig gøre med nye lyspincetter, som udvikles på Risø. Biologen kan benytte mange lyspincetter på én gang, og derved samtidigt holde fast, vende og dreje en eller flere celler og sortere dem. Ideen i en lyspincet kan illustreres ved, at man forestiller sig, at en ekspanderet laserstråle sendes gennem en skærm med for eksempel fem huller. På den anden side af skærmen vil man nu have fem separate lysstråler, og det er dem,

BOYE KOCH



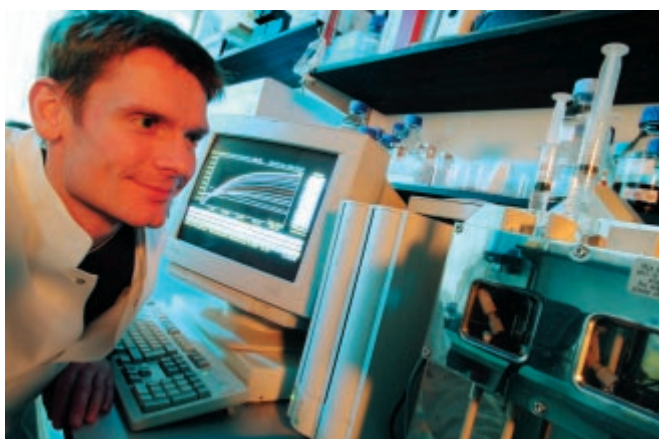
Programleder Hans Thordal-Christensen og specialestuderende Helene Fast er i gang med undersøgelser af planter sygdomsresistens.



En lysstråle fanger og flytter en gærcele. Princippet er det samme, som når der springer guldæbler i vandstrålerne på Caritas-springvandet på Gammel Torv i København. Guldæblerne bliver hængende på toppen af vandstrålen som resultat af et samspil mellem modsatrettede kræfter.

der hver især kan bringes til at fungere som en lyspincet. Ulempen ved denne metode er, at alt det lys, skærmen standser, går tabt til ingen nytte. Forskerne på Risø bruger derfor en avanceret skærm til at filtrere lyset. Den stopper ikke én eneste lyspartikel, men flytter blot rundt på dem, så de bliver til fem adskilte lysstråler. Princippet kaldes fasefiltrering. Bagefter kan man forme de fem lysstråler, som man vil. Biologen vil derfor kunne arbejde med sine celler via en computer, og via musen styre pincetterne rundt, eller ændre deres facon, så den passer til det, pincetterne skal gribe fat om. Der venter nogle års arbejde, før den første prototype kan vises frem. Tanken er at gøre udstyret så småt, at det kan rummes på en centimetertyk glasskive, der bare sættes på som et ekstra modul til mikroskopet.

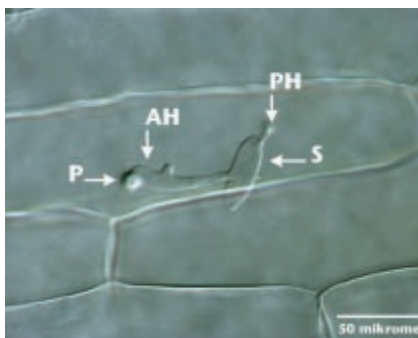
BOYE KOCH



Ph.d.-studerende Kim Burhenne arbejder med plantecellers resistensmekanismer og undersøger blandt andet, hvordan proteiner i byg er involveret i dens respons på stresspåvirkninger.

**Plantecellers egne resistensmekanismer udnyttes i transgene planter**

Resistens mod plantesygdommen meldug i byg baseres traditionelt på egenskaber bestemt af enkelte resistensgener. Problemet med dette er, at bygplanten kun er resistent over for specifikke racer af meldugsvampen, og det er derfor kun et spørgsmål om tid, før andre racer opformerer og medfører omfattende angreb. Det viser sig dog, at planteceller faktisk besidder andre yderst effektive resistensmekanismer. Studier af bygblade inficeret med en sygdom, som ikke kan vokse på byg, for eksempel hvedemeldug, har tidligere vist, at bygplanten efterfølgende er særdeles resistent mod bygmeldug. Forskere på Risø undersøger, hvilke mekanismer i plantecellen, der er årsag til fænomenet, og hvordan mekanismerne styres genetisk. I de tilfælde en enkelt plantecelle har været i stand til at afvise et meldugangreb, bliver den total resistent over for eventuelle efterfølgende angreb, og denne inducerede resistens overføres også til de nærmeste naboceller. Større viden om disse mekanismer kan sammen med moderne genteknologiske metoder bruges til at fremstille transgene bygplanter med særdeles effektiv resistens, som ikke umiddelbart kan overtrumfes af meldugsvampen. En transgen meldugresistent bygplante er således allerede lavet. Ved at kombinere komponenter fra bygplantens egne gener på en ny måde er det lykke-



Sådan forsvarer et bygblad sig mod angreb fra en meldugspore: Sporen (S) har dannet en kort primær hyfe (PH) og derefter en appressorial hyfe (AH), hvorfra den har forsøgt at trænge igennem plantecellevæggen og ind i den underliggende bygepidermiscelle. Dette har plantecellen forhindret ved papil dannelse (P), en lokal forstærkning af cellevæggen ved penetreringsstedet.

des at få plantens yderste celleglag til at producere et svampedræbende protein, som ellers kun produceres i de dybere celleglag. Den transgene byg forventes at være resistent over for alle meldugracer. Fremtidige forsøg skal vise, om resistensen virker på alle plantens udviklingstrin og i efterfølgende generationer.

## Dyrkningsmetoder

### Gråplet på hvede spredes også med vinden

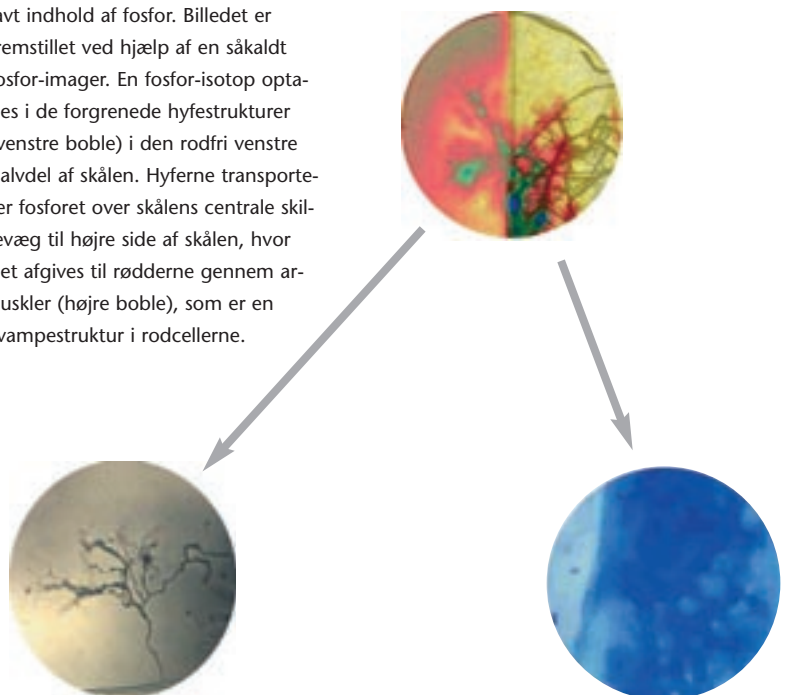
I løbet af 90'erne har svampesydommen gråplet på hvede fået en stigende udbredelse, og den ville de senere år have forårsaget store udbyttetab, hvis ikke man havde anvendt pesticider. Den tiltagende udbredelse skyldes sandsynligvis øget hvededyrkning, dyrkning af modtagelige hvedesorter og år med favorabelt klima for svampen. Gråpletsvampen spredes via to sporetyper. Den ene type spredes med vandplask, mens den anden spredes med vinden. I et netop afsluttet ph.d.-projekt er de vindsprede sporer påvist for første gang i Danmark, og betydningen af de to spredningsmekanismer er nærmere undersøgt. Matematisk modellering af sygdomsforløbet indikerer, at det hovedsageligt er de plaskspredte sporer, som er ansvarlige for sygdomsudviklingen. De vindsprede sporer kan først forventes i betydelige mængder sidst i vækstsæsonen, for sent til at påvirke sygdomstrykket. Disse resultater er blevet understøttet af markforsøg udført på Risø, hvor forekomsten af de to sporetyper er blevet fulgt over en vækstsæson. I hvededyrkingen i Danmark bruger man et varslingsystem for gråplet baseret på nedbørsmængde og uden hensyntagen til vindspredning. Projektets resultater understøtter denne fremgangsmåde.

### Plante-mikrobesymbioser: noget for noget

Plante-mikrobesymbioser er karakteriseret ved en udveksling af næringsstoffer mellem plante og mikroorganisme. Større viden om disse mekanismer kan føre til, at man mere effektivt kan udnytte mikroorganismen i jordbruget og dermed spare kunstgødning. Mykorrhiza-svampe lever således i symbiose med de allerfleste plantearter. Svampene invaderer rødder-

ne, og lange hyfer vokser ud i jorden. Herfra indsamler mykorrhiza-svampene fosfor og andre næringsstoffer til planten, som til gengæld leverer sukker til svampene. I 2000 er det lykkedes at visualisere uden for organismerne, hvordan svampehyferne overfører fosfor til rødderne. Samtidig har forskerne isoleret flere af de plantegener, som er ansvarlige for transport af fosfor ind i plantecellen hos planter uden mykorrhiza. Det er blevet undersøgt, hvordan disse gener påvirkes af tilstedeværelsen af mykorrhiza. Man skulle forvente, at plantegenet bliver slukket, når planten invaderes af mykorrhiza-svampe. Det viser sig imidlertid, at det ikke altid er tilfældet. En af forklaringerne er sandsynligvis, at der er forskel på, hvor effektivt de forskellige mykorrhiza-svampe fungerer. Grundlæggende invaderer alle arter af mykorrhiza-svampe alle planterarter, men nogle kombinationer fungerer bedre end andre. Den mest effektive symbiose involverer formodentlig flere forskellige mykorrhiza-svampe, som hver især fungerer forskelligt og dermed komplementerer hinanden. Forskningen foregår i Center for Plante-Mikrobe Symbioser, der er placeret

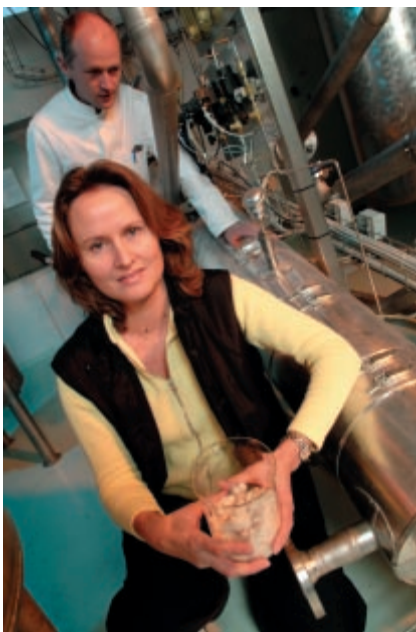
Øjebliksbillede af fosforindhold og fosfortransport i mykorrhiza. Blå farve angiver et højt og gul farve et lavt indhold af fosfor. Billedet er fremstillet ved hjælp af en såkaldt fosfor-imager. En fosfor-isotop optages i de forgrenede hyfestrukturer (venstre boble) i den rodfri venstre halvdel af skålen. Hyferne transporterer fosforet over skålens centrale skillevæg til højre side af skålen, hvor det afgives til rødderne gennem arbuskler (højre boble), som er en svampestruktur i rodcellerne.



BOYE KOCH

Vinterhvede inficeret med gråplet. I et nyt ErhvervsPostDoc-projekt med Sejet Planteformodling fremstilles nye hvedesorter med effektiv resistens mod forskellige svampesygdomme f.eks. gråplet. Dette gøres bl.a. gennem udnyttelsen af nye molekylære markør-metoder i forædlingen. På billedet ses ErhvervsPostDoc Lars B. Eriksen med to forædlingslinier fra Sejet Planteformodling, til venstre en modtagelig og til højre en resistent linie.

BOYE KOCH



Seniorforsker Anne Belinda Thomsen og Laboratorietekniker Tomas Fernqvist ved siden af Risøs nye pilotreaktor, der kan omdanne biomasse (planterester) til cellulose (i glasset) og vandopløseligt hemicellulose –



BILLEHUSET

– Begge dele kan let omsættes til ethanol, der kan erstatte MTBE i benzin.

på Risø og KVL og er etableret i et samarbejde med Danmarks Grundforskningsfond.

## Energiafgrøder

### Halm bliver til miljørigtigt brændstof

Risø har i samarbejde med DTU udviklet et vådoxidationsanlæg, der kan omsætte halm til sukkerarter, som herefter kan gæres til ethanol (sprit). Når man genbruger alle rester fra processen, bliver økonomien så god, at det vil være realistisk at erstatte det miljøskadelige tilsætningsstof MTBE med ethanol. Råmaterialet er hvedehalm, men mange andre planterester kan anvendes. I vådoxidationsanlægget blotlægges suktermolekylerne under høj temperatur og tryk. Industrielt fremstillede enzymer gør suktermolekylerne helt klar til gæring. Derefter gæres halmgrøden med bagegær. Nu kan ethanol destilleres af, og de suktermolekyler, som ikke omsættes af gær, omsættes af en varmeelskende bakterie fra en varm kilde i Island. Pointen ved anlægget er, at det er tænkt ind i en større helhed. Forskerne forestiller sig, at et sådan anlæg skal etableres tæt på et gyllebaseret biogasanlæg. I biogasanlægget omsættes resterne fra ethanolprocessen til metan, og tilbage er der rent vand. Samtidig kan halmresterne fra gyllen, som ikke kan bru-

ges i biogasanlægget, udnyttes i ethanolprocessen, og gyllens store vandindhold erstatter brugen af store vandmængder. Gyllevandet indeholder desuden de næringsstoffer, som ellers skal tilsættes, for at ethanolproducenternes mikroorganismer trives. Ved at udnytte denne cyklus bliver bioethanolprocessen til en rentabel forretning. Forskerne har søgt patent på hele processen fra halm til ethanol, metan og rent vand.

## Fødevarerikkerhed

### Ja, der er forskel på økolog og konventionelt dyrkede løg

Er der en påviselig forskel på økologisk og konventionelt dyrkede grøntsager? Det spørgsmål kan nu for afgrøderne løgs og ærter vedkommende besvares med et ja. På hvilken måde sortsvariationer kan påvirke resultaterne ved man dog endnu ikke. Forskere på Risø har med støtte fra FØTEK-programmet undersøgt koncentrationen af omkring 60 grundstoffer i prøver af de to grøntsager fra konventionelle og økologiske landbrug udvalgt så de mest almindelige danske jordtyper er repræsenteret. De konventionelle landbrug er begrænset til brug, der har anvendt kunstgødning til dyrkningen. Tallet er bearbejdet statistisk, og det har givet nogle sammenlignelige grundstofpro-

filer, der grupperer sig tydeligt efter dyrkningsmetode. Projektet omfatter også prøver af kartofler og seks andre grøntsager samt af kornsorterne rug, hvede og havre indsamlet i samarbejde med Landbrugets Rådgivningscenter. Derudover er Risø-forskerne i samarbejde med Danmarks JordbrugsForskning i færd med at undersøge forholdene for økologisk og konventionel mælk, burhønsæg og økologiske æg samt svinekød og -organer fra økologiske og konventionelle besætninger. I samarbejde med Forskningsinstitut for Human Ernæring på KVL er der udført humanmetaboliske balanceforsøg, hvor to grupper af mennesker har indtaget en diæt af henholdsvis økologiske og konventionelle råvarer. Balanceforsøgene skal give et fingerpeg om, hvorvidt mineraloptagelsen er forskellig ved indtagelse af konventionel og økologisk kost. I 2000 har det kunnet konkluderes, at der er forskel på grundstofprofilerne for løg og ærter, men det er for tidligt at sige noget om, hvorvidt der er forskel på ernæringsværdien af de undersøgte afgrøder. Forskerne arbejder nu hen imod at udvikle en kontrolmetode, som vil kunne bruges af myndigheder og grossister, og der er indgivet en patentansøgning på en metode til kontrol af økologisk autenticitet.

BOYE KOCH



I grøntsager findes mange af grundstofferne i ekstremt lave koncentrationer. For at undgå kontaminering må analysearbejdet udføres i et særligt rent rum. På billedet ses Hanne Wojtaszewski og Jette Bruun Nielsen i færd med at klargøre nogle grøntsager. I baggrunden Lis Vinther Kristensen.

### Naturlige giftstoffer i korn under lup

Forskere fra Risø og KVL undersøger naturlige svampegifte (toksiner) i korn. Der vil blive fokuseret på to svampe og flere forskellige toksiner: Fusarium (svamp) angriber kornplanternes blade og stængler og er derfor et problem for dyrene, som fodres med dem. Toksinerne kan dog også findes i for eksempel majscolber, korn og mel. Penicillium (skimmelsvampe) findes til gengæld primært i selve kornet. Giftstoffer fra disse svampe er ekstremt farlige for mennesker og kan udvikle sig voldsomt, hvis kornet opbevares for fugtigt og varmt. Begge svampetyper har i øvrigt de bedste betingelser i landbrugsafgrøder, som er dyrket økologisk, fordi der her ikke må sprøjtes imod dem. Projektet drejer sig om at udvikle metoder til at analysere toksinerne i planterne og samtidig undersøge, hvordan de omsættes i jorden. Risø har erfaring i at isolere og dyrke svampene og råder desuden over det måleudstyr, der skal til for at analysere på meget små mængder af stofferne. Man regner i øvrigt med ikke kun at bruge kunstigt inficeret plantemateriale, men også at få svampesyge planter ind fra danske landbrug. Den øgede viden om toksinerne vil i sidste ende kunne føre til, at man kan udvikle plantetyper med større modstandskraft over for svampesygdomme.

### Kontrol af radioaktivitet i danske fødevarer til eksport

Siden Tjernobyl-ulykken i 1986 har Risø kontrolleret en række danske eksportfødevarer for radioaktivitet. Målingerne udføres på stikprøver, der blandt andet kommer fra DANAKs autoriserede prøveudtagere. De højeste niveauer måles i fisk fra Østersøen, der blev forurenet ved Tjernobyl-ulykken. Forureningsniveauerne er dallet støt gennem årene og ligger nu for helt igennem danske varer under 5 becquerel  $^{137}\text{Cs}$  pr. kilo. Hvis man finder højere niveauer i en prøve, kan man derfor slutte, at den er blandet op med udenlandske varer. Det hænder af og til, og det er måske en af grundene til, at eksportcertifikatet stadig 15 år efter Tjernobyl-ulykken er nødvendigt.



NORDFOTO

Der er en påviselig forskel på økologisk og konventionelt dyrkede grøntsager. På hvilken måde sortsvariationer kan påvirke resultaterne ved man dog endnu ikke.



BOYE KOCH

Det kræver avancerede analysemetoder at analysere svampetoksiner i jord- og plantemateriale. Her ses en ny teknik, SPME (solid phase micro extraction).



# Viden, kompetencer og menneskelige ressourcer

## Forskeruddannelse

14 ph.d.-studerende har opnået ph.d.-graden i 2000. På Risø har der i 2000 i alt været tilknyttet 75 ph.d.-studerende svarende til i alt 67 årsværk. 41 af de studerende er samfinansieret mellem Forskeruddannelseskantoret, Forskningsstyrelsen og Risø, hvoraf de fem er tilknyttet forskerskolen i Bio-fysik og fire er tilknyttet forskerskolen i Nonlinear Science. Syv er finansieret af Ingeniørvidenskabeligt Center, mens resten er finansieret på anden måde. Antallet af post doc.-stipendiater er på 61 svarende til 61 årsværk, heraf 35 udenlandske post docs.

### De fik ph.d.-graden i 2000

#### Afdelingen for Vindenergi

Alfred K. Joensen, civilingeniør fra DTU  
Gregor Giebel, cand.scient. ved Technische Universität München  
Alexandre de Lemos Pereira, M.Sc. fra DTU

#### Afdelingen for Optik og Fluid Dynamik

Peter Lodahl, cand.scient. ved Århus Universitet  
Thomas Nikolajsen, cand.scient. ved Ålborg Universitet  
Birgitte Testrup Nielsen, cand.scient. ved Københavns Universitet

#### Afd. for Plantebiologi og Biogeokemi

Lars Eriksen, cand.agro. ved Den Kongelige Veterinære Landbohøjskole

#### Afdelingen for Materialeforskning

Søren Fæster Nielsen, cand.scient. ved Københavns Universitet

#### Afd. for Materialers Fysik og Kemi

Johannes Reynisson, cand.scient. ved University of Iceland  
André Faldt, cand.scient. ved Københavns Universitet

#### Afdelingen for Systemanalyse

Haldor Palsson, civilingeniør fra DTU  
Jørgen H. K. Jacobsen, cand.polit. ved Københavns Universitet  
John Callaway, M.Sc. ved Tilburg University

#### Afd. for Nuklear Sikkerhedsforskning

Jakob Helt-Hansen, Cand.scient ved Københavns Universitet



BOYE KOCH

### Priser, udnævnelser og udmærkelser i 2000

#### Afdelingen for Materialeforskning

Niels Hansen, Dr.techn. afdelingschef for Afdelingen for Materialeforskning til udgangen af 2000, fik overrakt Poul Bergsøe Medaljen i forbindelse med Dansk Metalurgisk Selskabs generalforsamling.

#### Afd. for Materialers Fysik og Kemi

Jan Skov Pedersen, seniorforsker, lic. scient. forsvarede i slutningen af marts sin doktorafhandling på Københavns Universitet. Emnet var målinger af bløde materialer ved hjælp af neutronspreddning. Fra august 2000 tiltrådte han et professorat ved Århus Universitet.

#### Afdelingen for Optik og Fluid Dynamik

Jesper Glückstad, seniorforsker, civilingeniør er blevet tildelt DOPS-prisen 2000.

DOPS prisen 2000 blev tildelt Jesper Glückstad (th.), Risø, for hans forskning inden for adaptiv optik og fasekontrast området. Prisen blev overrakt af DOPS, Bjarne Tromborg.

Paul Michael Petersen, forskningsspecialist, civilingeniør er blevet tildelt Dansk Optisk Selskabs Seniorpris.

Jørgen Schou, seniorforsker, cand.scient. er blevet tildelt titlen adjungeret professor i fysik ved Det Naturvidenskabelige og Tekniske Fakultet, Syddansk Universitet for perioden 1. september 2000 til 31. august 2005.

#### Afd. for Nuklear Sikkerhedsforskning

Lars Bøtter-Jensen, seniorforsker, teknikumingeniør, forsvarede sin doktorafhandling ved Københavns Universitet i november 2000.

#### Afd. for Plantebiologi og Biogeokemi

Iben Ellegaard Bechmann, forsker, civilingeniør, fik Valborg og Edith Larsens legat for fremme af kvinders forskningsmuligheder.

Erik Steen Jensen, seniorforsker, professor, dr.agro. fik fabrikant Ulrik Brinch og hustru Marie Brinchs legat.

### Forskerskoler giver kontakter

I 2000 har 35 danske ph.d.-studerende fulgt kurser og forelæsningsrækker med danske og udenlandske eksperter gennem forskerskolen i Nonlinear Science. Skolen er et samarbejde mellem Risø, DTU og NBI, i styregruppen sidder desuden medarbejdere fra Novo Nordisk. Den økonomiske støtte kommer fra Forskeruddannelseskantoret, Forskningsstyrelsen. Skolen havde i 2000 besøg af 30 udenlandske ph.d.-studerende, som dels deltog i

kurser og konferencer, og dels havde længerevarende samarbejde med danske studerende. Der har desuden været mere end 50 besøgende professorer og forskere som forelæsere og vejledere. Skolen er således med til at give de studerende et værdifuldt kontaktnet, som de kan trække på i deres videre karriere.

Risø er desuden primus motor i Forskningsstyrelsens forskerskole i biofysik, et samarbejde med NBI, August Krogh Institut, DTU og KVL. 16 ph.d.-studerende

var indskrevet i 2000, heraf tre udlændinge. En ungarsk gæstestuderende har i løbet af 12 måneder opnået så gode resultater, at han er sikret en forskerstilling, når han er færdig med sit ph.d.-studium. Hans studier resulterede i to artikler og en patentansøgning. Skolen har haft 22 gæstelærere, og med maksimal støtte fra EU har den sammen med det franske CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) holdt kombineret kursus og workshop med titlen Medical Applications of Hyperpolarized Gasses, hvor 41 studenter fra hele verden deltog.

### Samarbejde og undervisning i biomedicinsk optik

Center for Biomedicinsk Optik (BIOP) er et samarbejde om forskning og uddannelse i anvendelse af lasere inden for medicin. De deltagende forskere kommer fra DTU og Risø, og desuden er læger fra Amtsygehuset i Herlev og Marselisborg Hospital tilknyttet centret. BIOP udbød i foråret 2000 et kandidatkursus på DTU. 25 studenter deltog i kurset.

### Ph.d.-kursus i ledelse af forskning og innovation

Risø har gennemført et ph.d.-kursus om ledelse af forskning og innovation. Forskningens rolle er under forandring, det er ikke længere tilstrækkeligt blot at producere og publicere resultater. Samfundet forventer i stigende grad, at forskningen bidrager til at øge velstanden og løse samfundsmæssige opgaver. Det kræver et tættere samspil mellem forskningsinstitutioner, virksomheder, offentlige myndigheder og lægmand. I kurset deltog 12 ph.d.-studerende fra Risø og en fra Rigshospitalet. De har på kurset arbejdet med perspektiverne i deres forskning i forhold til det omgivende samfund og i forhold til offentlige myndigheders og private virksomheders behov. Samtidig har kurset også skulle øge opmærksomheden på alternative karriereforløb. For eksempel i det private erhvervsliv eller som højteknologisk iværksætter. Kurset er gennemført i samarbejde med Handelshøjskolen i København som led i forskningsprojektet REMAP (Research Management under Rapid Change) hvor Analyseinstitut for Forskning og seks danske virksomheder også er involveret.

### Erhvervsforsker som bindeled til virksomheder

En erhvervsforsker kan være et meget betydningsfuldt bindeled mellem en virksomhed og en forskningsinstitution som Risø: Virksomheden får adgang til analyseudstyr og viden om, hvordan analyseresultater fortolkes, medens Risø får et bedre kendskab til virksomhedens materialeproblemer og dermed mulighed for et udbygget samarbejde med en kernekunde. Her skal nævnes to erhvervsforskerprojekter. Det ene har drejet sig om friktionsmaterialer til bremses i køretøjer for firmaet Roulund. Foruden Risø deltog Teknologisk Institut og DTU i samarbejdet. Det andet projekt handlede om fremstilling af slidstærke jernbaserede kompositter til voldsomt belastede maskindele, for eksempel i land- og skovbrugsmaskiner. Her deltog Det Danske Stålværk, Dan Spray, Teknologisk Institut og DTU. De kompositmaterialer, der blev undersøgt, er fremstillet i Risøs anlæg til sprayformning, og de har vist sig at være tre gange så stærke som rent metalliske matrixmaterialer. Samtidig har forsøgene vist, at de nye materialer kan formgives ved almindelige smedemetoder.

Ph.d.-studerende bidrager væsentligt til publikationslisten.

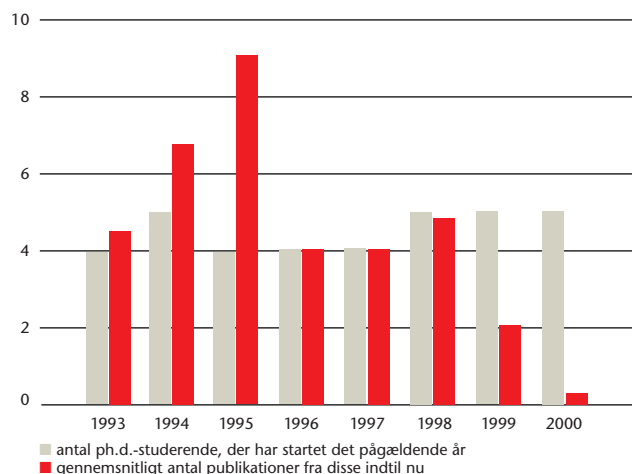
Afdelingen for Materialeforskning har undersøgt, hvor mange internationale publikationer der er kommet ud af de ph.d.-projekter, som er påbegyndt på afdelingen siden 1993 og afsluttet inden for



BOYE KOCH

Studenter fra DTU og andre højere læreanstalter kan få sommerjob i Risøs Afdeling for Materialeforskning. I løbet af de seneste tre år har 15 studenter suppleret deres uddannelse ved at arbejde med projekter i afdelingen, tre af dem har kunnet bruge sommerprojekterne som egentlige kurser i deres uddannelsesforløb, og to har udført deres afsluttende eksamensprojekt i afdelingen i tilknytning til sommerjobbet. Også industrien har interesse i disse jobs, og flere af projekterne er direkte finansieret af virksomheder. Billedet viser en række studenter: Jesper Holm, Jan Høgsberg, Ann Marie Earwaker, Casper Thorning, Jens Høgh, Lars Rindorf.

de sidste fem år eller endnu ikke afsluttet. For de ph.d.-studerende, der er startet hvert af de omhandlede år (blå søjler), har man optalt det samlede antal publikationer indtil nu og divideret med antallet af studerende (røde søjler).



## Medarbejdere og ledelse

### Medarbejdertilfredshedsundersøgelse

I 2000 blev der for første gang gennemført en medarbejdertilfredshedsundersøgelse på Risø. Hver afdeling har efterfølgende udarbejdet handlingsplaner for, hvordan de vil sikre en høj tilfredshed fremover. Der vil blive fulgt op på handlingsplanerne i 2001. Undersøgelsen viste blandt andet behov for at revidere konceptet for medarbejderudviklingssamtalerne. Det nye koncept introduceres i 2001 sammen med den nødvendige træning.

### Fælles værdier i Dansk Polymercenter

Risø indgår i flere og tættere samarbejdsstrukturer med erhvervsliv og universiteter. Et eksempel er Dansk Polymercenter, hvor Risø og DTU rykker sammen i et center. I den forbindelse ønskede Risø at øge sin kompetence i at få forskellige kulturer til at arbejde hurtigere sammen. Derfor

søgte og fik personalefunktionen 400.000 kr. i støtte fra Udviklings- og Omstillingsfonden til et pilotprojekt vedrørende opbygning af fælles værdier i Dansk Polymercenter. Det skete ud fra en overbevisning om, at dette vil bringe centret hurtigere henimod en opfyldelse af deres ambitiøse vision. Projektet afsluttes i 2001.

### Hjemmeuddannelsesprojektet

Medio 1999 udbød Risø 165 hjemmeuddannelsespladser (pc-kørekort) i et 1½-årigt projekt. Hjemmeuddannelsesprojektet har bidraget væsentligt til det ønskede IT-løft og følges derfor op af et nyt projekt i 2001 uden et begrænset antal pladser. 74 medarbejdere har meldt sig til det nye projekt.

### MER-projekt

MER er en forkortelse af Med Eksisterende Ressourcer. Projektet udvikler Risøs med-

arbejdere på medarbejder-, organisations- og ledelsesniveau og er gennemført i Afdelingen for Nukleare Anlæg i samarbejde med konsulentfirmaet RMS, AMU-center Roskilde og Dansk Industri. De deltagende virksomheder er ud over Risø: Microtronic, Chr. Hansen, Roskilde og Chr. Hansen, Avedøre.

### Konsekvenser for medarbejderne ved lukning af Risøs nukleare anlæg

I 2000 stod det klart, at nedlukningen af DR3 ville blive en realitet inden for en kortere tidshorizont. På denne baggrund blev der nedsat en arbejdsgruppe, som drøftede situationen og udarbejdede forslag til en fornuftig behandling af medarbejderne. Det har blandt andet resulteret i en garanti på 12 måneders indkomst, ligesom der gennemføres et omstillingsprojekt i 2001.

Medarbejdere 1997 – 2000 (årsværk)				
	1997	1998	1999	2000
<b>Forskningsafdelinger</b>				
Chefer	7	7	7	6
Program- og opgaveledere	53	40	40	42
Forskningsprofessorer	-	-	-	2
Forskningsspecialister	-	3	6	7
Seniorforskere/-rådgivere	109	124	125	123
Forskere	46	42	41	44
Projektforskere/Post docs	49	50	56	51
Ph.d.-studerende	55	57	65	71
AC overgangsordning	5	7	2	2
T-A akademikere	32	32	43	45
T-A øvrige personale	184	198	192	190
<b>Total forskningsafdelinger</b>	<b>540</b>	<b>560</b>	<b>577</b>	<b>582</b>
<b>Nukleare anlæg</b>	<b>82</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>76</b>
<b>Infrastruktur</b>				
Tekniske afdelinger	146	123	114	104
Administration & Sikkerhed	96	71	69	67
Elever, lærlinge etc.	35	31	27	24
<b>Total infrastruktur</b>	<b>277</b>	<b>226</b>	<b>211</b>	<b>194</b>
<b>Total Risø</b>	<b>899</b>	<b>863</b>	<b>866</b>	<b>852</b>

## Organisation og ledelse

### Risøs bestyrelse

Jørgen M. Clausen, adm. direktør  
Danfoss A/S, Formand

Jørgen Elikofer, sekretariatschef  
Dansk Metalarbejderforbund

Birthe Skands, udviklingschef  
VIKAS A/S

Povl Skovgaard, direktør  
Næstformand

Agnete Gersing, afdelingschef  
Finansministeriet

Annette Toft, afdelingschef  
Landbrugsrådet  
Fra 1.2.2000

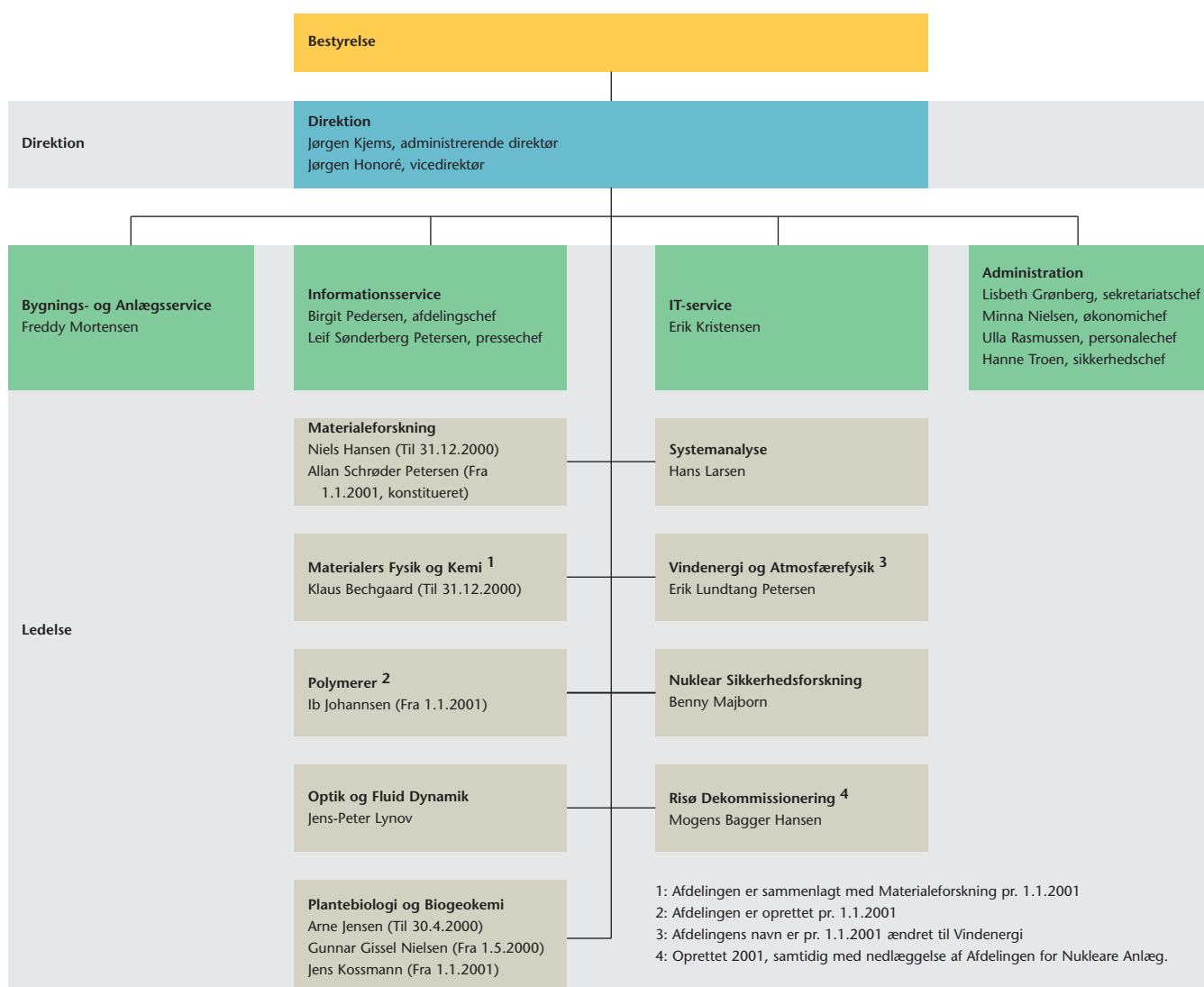
Per Buch Andreasen,  
adm. overlæge, dr. med  
Københavns Amtssygehus, Gentofte

Torben Mikkelsen, seniorforsker  
Forskningscenter Risø  
Valgt af Risøs medarbejdere  
Fra 1.6.2000

Lisbeth Grønberg, cand. jur.  
Forskningscenter Risø, bestyrelses-  
sekretær

Knut Conradsen, prorektor, professor  
Danmarks Tekniske Universitet

Jens Olsson, forskningstekniker  
Forskningscenter Risø  
Valgt af Risøs medarbejdere



## Eksperimentelle faciliteter

### DR 3 lukket

Da Forskningsreaktor DR 3 lukkede i september 2000, mistede Risøs materialeforskere den neutronkilde, der havde sat dem i stand til at se ind i materialerne for at fastlægge deres opbygning af molekyler og atomer samt få kendskab til indre magnetiske og dynamiske egenskaber. I løbet af efteråret har man været rundt på andre forskningsreaktorer i Europa for at finde et sted at fortsætte den type materialeforskning. Risøs materialeforskere har været en anerkendt og attraktiv samarbejdspartner for mange tilsvarende grupper i verden, og mange europæiske neutronforskningscentre har indbudt Risøgruppen til udvidet samarbejde ved deres

institutioner. Det planlægges at indgå en aftale med Paul Scherrer Institut (PSI) i Schweiz, som råder over en ret ny såkaldt spallationskilde. Den minder så meget om en reaktor, at mange af Risøs neutronspredningsinstrumenter kan bruges umiddelbart i tilknytning dertil. Planen er, at Risø i første omgang installerer to af de mest avancerede instrumenter, dels det helt nye RITA-instrument (Re-Invented Triple Axis spectrometre), og dels SANS-instrumentet (småvinkel neutronspreddning), som forventes i drift fra starten af 2002. Instrumenterne tænkes overdraget til PSI mod, at danske neutronspreddningsforskere får adgang til at bruge dem og andre af PSIs instrumenter et givent antal

uger om året. Risø-forskere vil fortsat kunne bidrage med idéer til nye instrumenteringer, selv om de ikke skal stå for bygningen af dem, når Danmarks store forsøgsfacilitet ikke kører mere. Risø kan sandsynligvis også sælge de øvrige DR3-relaterede instrumenter. Blandt andet har forskere ved forskningsreaktorer i Sverige og Norge vist interesse, og der forhandles om betingelser, eventuelt i form af måletid for danske forskere.

En række af Risøs neutronspektrometre planlægges overdraget til det svejtsiske Paul Scherrer Institut, efter at forskningsreaktor DR3 blev lukket i efteråret 2000.



PAUL SCHERRER INSTITUT

## Publikationer

### Risøs publikationsvirksomhed

Risøs forskning resulterer i en omfattende publikationsvirksomhed gennem artikler i internationale tidsskrifter, forskningsrapporter og andre publikationer. Denne publikationsvirksomhed danner grundlaget for overførsel af viden og teknologi til erhvervslivet og for udveksling af viden med danske og internationale forskningsinstitutioner.

### Artikler, bøger, rapporter og konferencebidrag m.m.

Risø vedligeholder en database med oplysninger om Risøs publikationer og foredrag. Der er adgang til at søge i publikationsdatabasen fra Risøs egen website [www.risoe.dk](http://www.risoe.dk). Herfra kan man tillige hente rapporter fra Risøs egen rapportserie, idet alle rapporter også udgives i elektronisk form. Publikationsoplysningerne indgår desuden i Den Danske Forskningsdatabase.

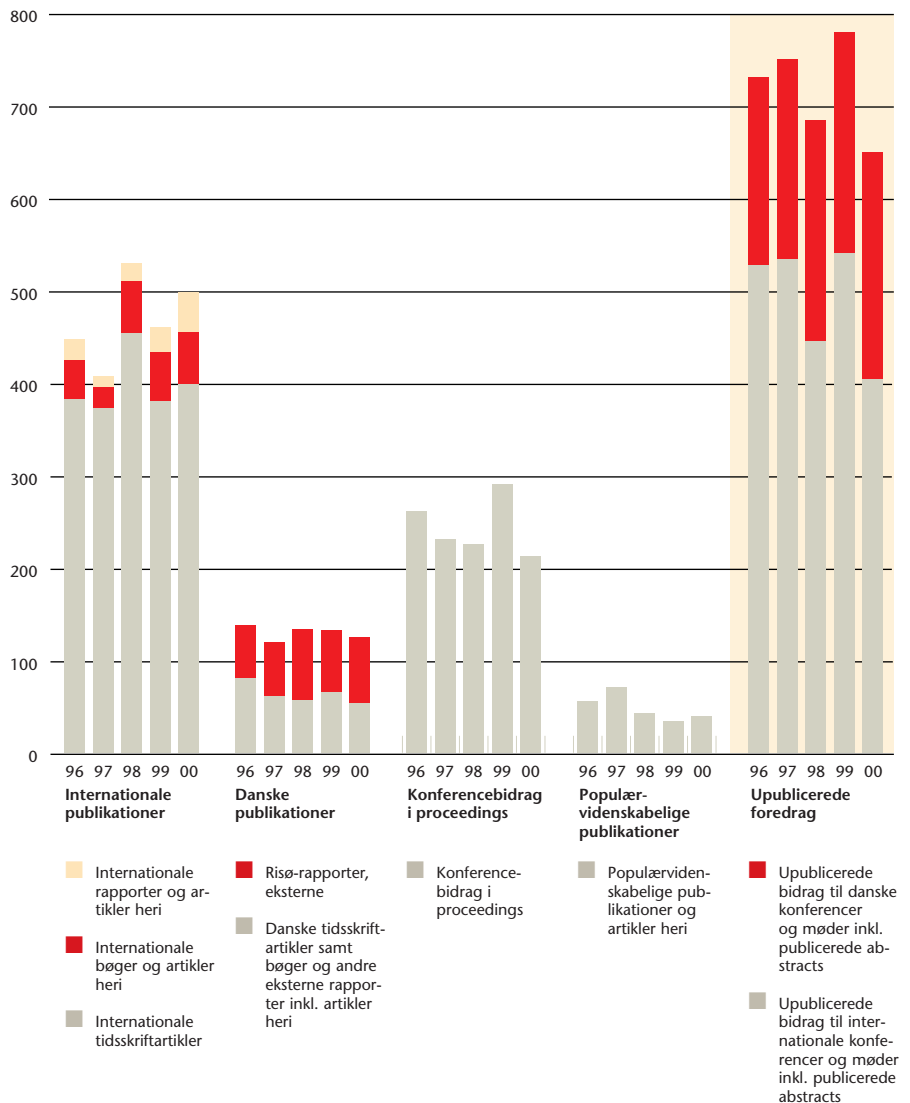
Baseret på oplysningerne i publikationsdatabasen belyses i figur 4 forskellige aspekter af publikationsvirksomheden i 2000.

### Risø-artikler i ISIs Source Journals

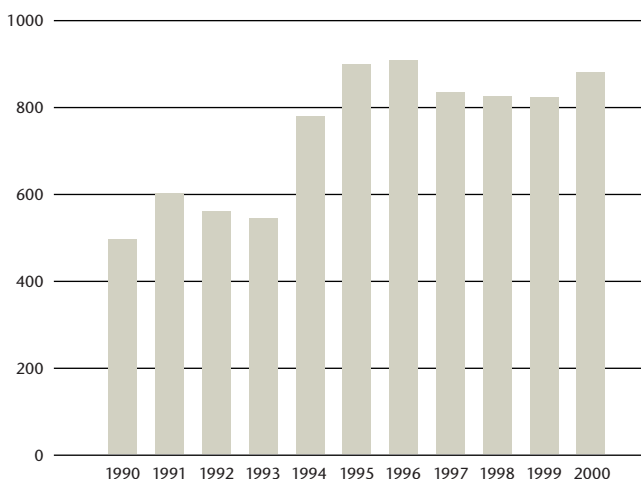
Som supplement til de bibliometriske analyser, Risø foretager på basis af sin egen publikationsdatabase (figur 1-4), anvender Risø en Institutional Citation Report (ICR) fra Institute for Scientific Information (ISI). ICR-basen giver mulighed for citationsanalyser m.v. ICR-databasen indeholder referencer til de artikler i ISI Source Journals, hvor 'Risø' er anført som forfatteradresse. ISI Source Journals omfatter mere end 4000 internationale tidsskrifter inden for det naturvidenskabelige og teknisk-videnskabelige område og ca. 3000 tidsskrifter inden for humaniora og samfundsvidenskab. Langt de fleste af Risøs internationale artikler er udgivet i ISI Source Journals.

Risø-artikler i ISIs Source Journals er vist i figur 5-9.

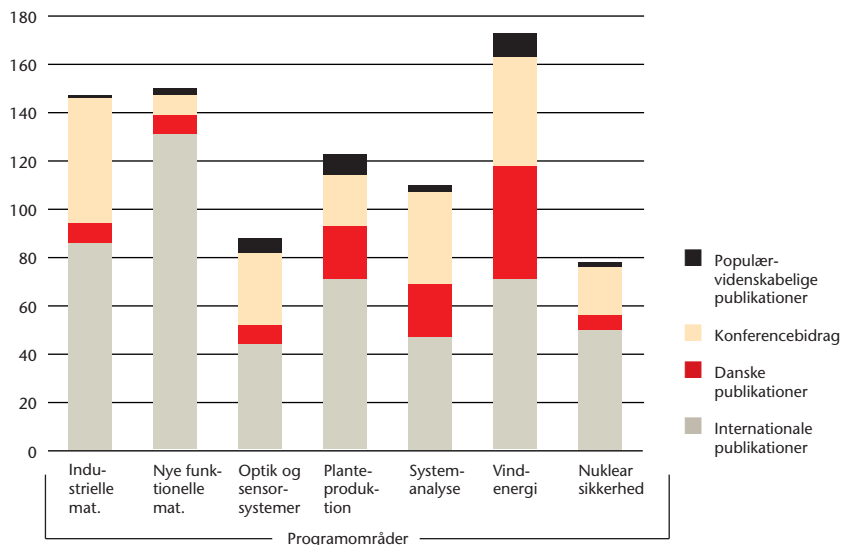
Figur 1. Publikationer og foredrag (på gul baggrund) i årene 1996 til 2000 opgjort på type.



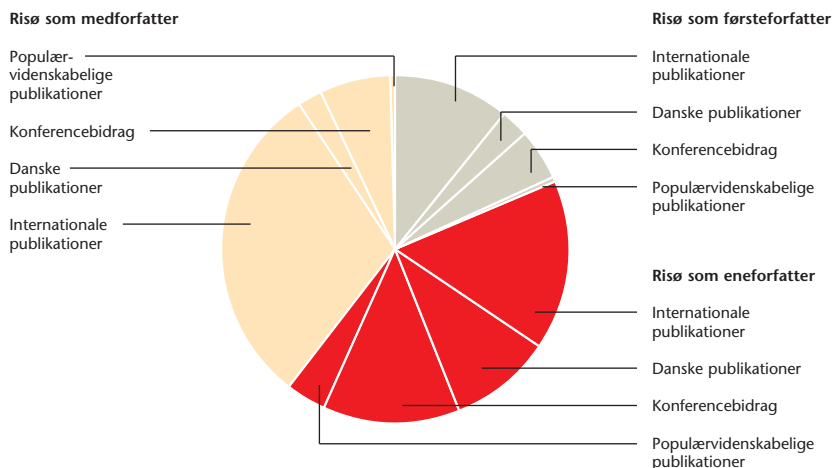
Figur 2. Publikationsvirksomhed i årene 1990 til 2000 (totaler, svarer til publikationssøjlerne i figur 1)



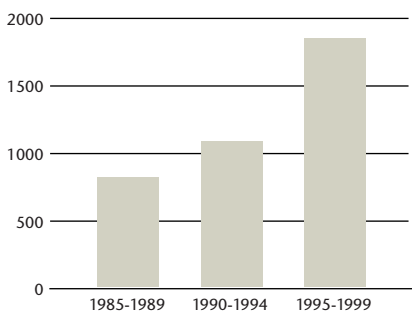
Figur 3. Antal publikationer opgjort på programområde og typer



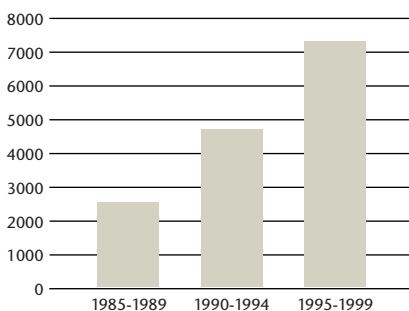
Figur 4. Antal publikationer i 2000 hvor Risø er eneforfatter, antal publikationer hvor Risø er førsteforfatter og antal publikationer hvor Risø er medforfatter. Opdelingen i publikationstyper svarer til de fire publikationssøjler i figur 1.



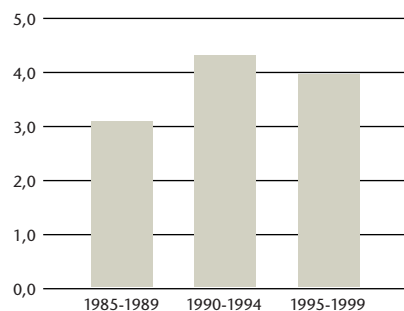
Figur 5. Antal Risø-artikler i ISI Source Journals i 1985-1999 angivet i 5-års perioder.

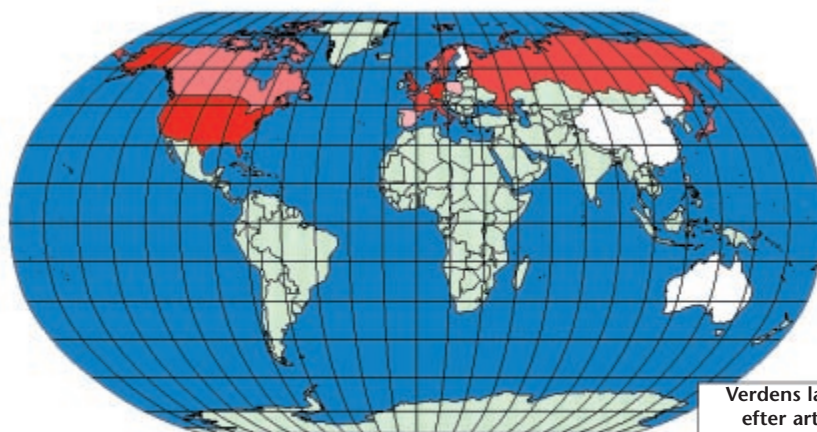


Figur 6. Antal citationer af Risøs artikler i ISI Source Journals givet inden for samme 5-års periode som artiklerne er publiceret i.



Figur 7. Gennemsnitligt antal citationer pr. Risø-artikel givet inden for samme 5-års periode som artiklerne er publiceret i.





**Figur 8. De 25 institutioner, som Risø har publiceret flest artikler sammen med i perioden 1995-1999**

Ud fra det institutionsforhold, som er angivet for forfatterne til artikler i ISI Source Journals er opgjort de 25 institutioner, som Risø har publiceret mest sammen med i perioden 1995-1999.

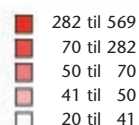
Institution	Artikler
Danmarks Tekniske Universitet	112
Københavns Universitet	77
Russian Academy of Science	51
Ford Motor Company	49
KFA Julich GmbH	43
University of Oxford	43
University of Minnesota	32
Danmarks Miljøundersøgelser	30
Aarhus Universitet	28
University of Hamburg	28
Eth Zurich	27
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole	27
Weizmann Institute of Science	25
Inst Max Von Laue Paul Langevin	24
Niels Bohr Institutet	23
Rutherford Appleton Lab.	23
AT&T Bell Labs	22
Brookhaven National Laboratory	21
Desy	21
European Synchrotron Radiation Fac.	19
Chalmers University of Technology	18
Hahn Meitner Inst Berlin GmbH	17
University of Toronto	17
Lund University	16
Oak Ridge National Laboratory	16

**Figur 9. Risøs samarbejde med andre institutioner – udtrykt i fælles artikler – fordelt på lande**

Ud fra det institutionsforhold som er angivet for forfatterne til artikler i ISI Source Journals er vist de lande, som Risø har publiceret mere end 20 artikler sammen med i perioden 1995-1999.

Land	Artikler
USA	569
Danmark	518
Tyskland	375
Storbritannien	282
Frankrig	160
Sverige	123
Rusland	97
Italien	70
Canada	61
Japan	60
Holland	50
Norge	50
Schweiz	49
Israel	47
Spanien	43
Polen	41
Australien	35
Belgien	30
Finland	28
Kina	20

**Verdens lande efter artikler**





## Patenter og aftaler om overdragelse af rettigheder

Patentansøgninger og opfindelser Risø har overtaget fra medarbejderne i 2000, hvoraf ca. halvdelen er omfattet af aftaler om erhvervsmæssig udnyttelse.

Titel/anvendelse	Opfindere
<b>Styrestrategi for vindmøller</b> Opfindelsen optimerer vindmøllers effekt	Lars Henrik Hansen
<b>Phytase ekstraheret fra hvede</b> Opfindelsen gør det muligt at udvikle hvede, der får mennesker og dyr til at optage mere fosfat, protein og mineraler fra hvedebaseret føde. Forurening kan nedsættes og ernæring i U-lande kan forbedres	Søren K. Rasmussen, Katja S. Johansen og Mikael B. Sørensen
<b>Kontakteringsløsninger</b> Videreudvikling af brændselsceller	Carsten Bagger
<b>Forankring af SOFC elektroder</b> Videreudvikling af brændselsceller	Søren Primdahl og Søren Linderøth
<b>Optisk forstærkning</b> Forbedret klinisk diagnostik vha. ny billede/optik behandling	Peter E. Andersen samt to medarbejdere ved DTU
<b>A computer input device with optical detection means</b> Optisk aftastning af en kugles bevægelser, mhp. udvikling af ny pc-mus	Steen G. Hanson og Rene Skov Hansen
<b>Reinforced polymer composites</b> Opfindelsen øger materialestyrken i formstøbte plantefibre	Tom Løgstrup Andersen og David Plackett
<b>Formgivning og krystallisation af amorfe legeringer</b> Metode til fremstilling af tynde og lette materialer	Nini Pryds, Morten Eldrup, Søren Linderøth og Allan Schrøder Pedersen
<b>Coupling elements for surface plasmon resonance sensors</b> Sensor chip, der vha. holografiske principper kan anvendes til målinger af vandkvalitet	Henrik Chresten Pedersen samt en medarbejder ved privat virksomhed.
<b>Holographic optical element feedback system</b> Forbedring af lasersystemers kohærens egenskaber	Paul Michael Petersen
<b>Laser tromleteknologi</b> Forbedret diodelaser	Paul Michael Petersen
<b>Krypteringsmodul</b> Kompakt optoelektronisk krypteringsmodul til datakommunikation	Jesper Glückstad og Paul C. Mogensen
<b>Free standing waveguide sensor</b> Ny optisk sensor til måling af biokemiske elementer i væsker – billigere og lettere måling af dna, protein-, bakterie- og celleforekomster i små mængder	Henrik Chresten Pedersen, Robert Hovarth, Lars Lindvold og Niels B. Larsen
<b>Suspension af ammunition</b> Gel, der uskadeliggør ammunition i forbindelse med transport og bortskaffelse	Frank Markert og en medarbejder ved en privat virksomhed
<b>Single molecule fluorescence sensor</b> Ny metode til overvågning og identifikation af materiale egenskaber	Ib Johannsen, Mikkel Jørgensen og Rolf Berg

Oversigt over aftaler om rettigheder til erhvervmæssig udnyttelse til patentansøgte opfindelser i 2000.

Opfindelse	Samarbejdspartner
Metode til erstatning af bruske	Cartificial A/S. Opfindelsen er overdraget mod aktier i virksomheden
Rotationsmåling	Kanitech International A/S
A computer input device with optical detection means	Kanitech International A/S
Coupling elements for surface plasmon resonance sensors	Opfindelsen er overdraget til Vir A/S
Laser tromleteknologi	Purup-Eskofot A/S
Kontakteringsløsninger	Haldor Topsøe A/S
Forankring af SOFC elektroder	Haldor Topsøe A/S
Optisk lagring	Optilink AG
Peptidbaseret hologram	Optilink AG
Holografisk smart card	Optilink AG

BOYE KOCH



# Økonomi

## Resultatopgørelse for Forskningscenter Risø

Mill.kr ekskl. moms

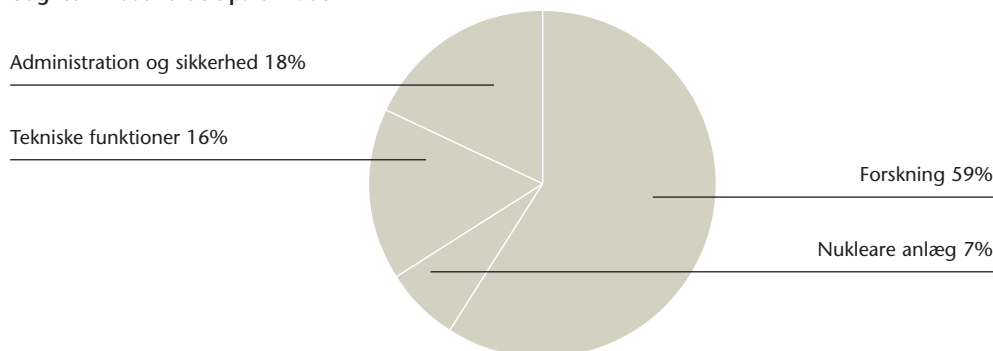
	Regnskab 1999	Regnskab 2000	Budget 2001	Noter
Finanslovsbevilling	264,3	274,4	284,9	
Kontraktvirksomhed	244,9	242,6	281,0	
<b>Indtægter i alt</b>	<b>509,2</b>	<b>517,0</b>	<b>565,9</b>	
Lønninger	290,5	297,6	314,2	
Driftsudgifter	180,3	182,0	202,3	1
Investeringer	38,0	57,2	69,9	2
<b>Udgifter i alt</b>	<b>508,8</b>	<b>536,8</b>	<b>586,4</b>	
<b>Resultat</b>	<b>0,3</b>	<b>- 19,8</b>	<b>- 20,5</b>	3

Note 1 Der blev i 2000 ikke afsendt ladninger med brugt reaktorbrændsel, mens der i 1999 blev afsendt to. I 2001 er der budgetteret med afsendelse af én ladning med brugt reaktorbrændsel.

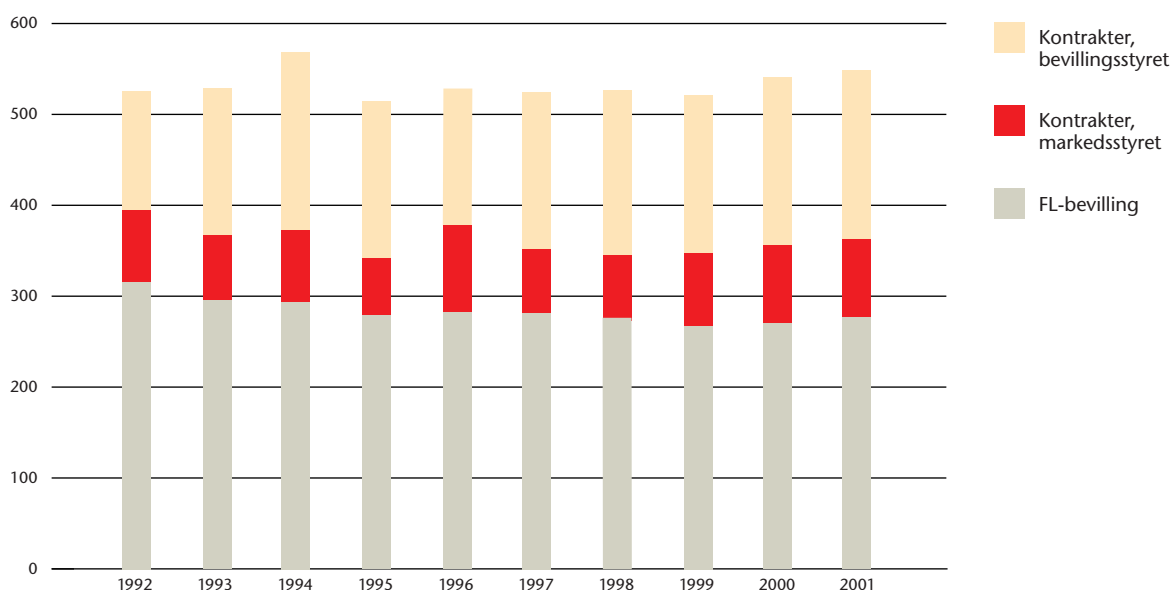
Note 2 Heraf er 31,7 mill.kr. anlægsudgifter i statsregnskabet for 2000 (8,2 mill.kr. i 1999).

Note 3 I budgettet for 2001 er medregnet udgifterne til de nukleare anlæg (ca. 38 mill.kr.). Disse udgifter forventes i 2002 at overgå til selskabet Dansk Dekommissionering, som skal varetage opgaven med nedlæggelsen af de nukleare aktiviteter på Risø.

### Udgifter i 2000 fordelt på områder



### Indtægtsudvikling (2000-prisniveau, mill. kr.)



**Balance ultimo december 2000**

Mill.kr. løbende priser

	Regnskab 1999	Regnskab 2000	Noter
<b>Ativer</b>			
Materielle anlægsaktiver	227,7	248,8	1
Omsætningsaktiver			
- likvide beholdninger	35,1	80,7	2
- tilgodehavender	115,6	140,6	3
<b>Aktiver i alt</b>	<b>378,4</b>	<b>470,1</b>	
<b>Passiver</b>			
Statens finansiering af Risøs virksomhed			
- Statens finansiering af anlæg	227,7	248,6	
- Akkumuleret driftsresultat	14,3	-5,4	
- Statens finansiering af aktiver i øvrigt	77,6	90,5	2
Kortfristet gæld	58,8	136,4	4
<b>Passiver i alt</b>	<b>378,4</b>	<b>470,1</b>	

Note 1 Bogført værdi af anlægsaktiver ultimo 2000. Beløbet består af de akkumulerede anskaffelser fratrukket frasalg og afskrivninger. Afskrivningerne foretages med 5% lineært.

Note 2 I de likvide beholdninger indgår Risøs mellemværende med Nationalbanken med 75,3 mill.kr. (30,6 mill.kr. i 1999).

Som en følge af aftalen om selvstændig likviditet indgår denne saldo også i balancen som en del af statens finansiering af aktiver i øvrigt.

Note 3 I saldoen indgår periodisering af indtægter på kr. 39,4 fra projekter som først færdigfaktureres i det efterfølgende finansår (EU projekter og lign.) I 1999 udgjorde beløbet 38,6 mill. kr..

Note 4 Den forholdsvis store stigning fra 1999 til 2000 skyldes primært øgede indbetalinger vedr. varer og tjenesteydelser til senere levering. Denne post udgjorde ultimo 2000 89,4 mill.kr. imod 28,3 mill.kr. ultimo 1999.

# Miljø

Det grønne regnskab indeholder oplysninger om Risøs overholdelse af lovgivningen og godkendelser inden for miljø- og sikkerhedsområdet (ydre miljø, arbejdsmiljø, sundhed, brand, beredskaber, nuklear sikkerhed og strålingsbeskyttelse), om væsentlige forbrug af ressourcer, udledning til omgivelser og påvirkninger af medarbejderne samt sygefravær.

Det grønne regnskab har siden 1996 været en del af Risøs årsberetning med det formål at redegøre for miljø- og sikkerhedsmæssige forhold. Siden 1999 er disse oplysninger blevet suppleret med websiderne Miljø & Sikkerhed, hvor der løbende offentliggøres sager af betydning for Risøs sikkerhedsforhold.

Det er Risøs strategi, at sikkerhedsarbejdet skal være forebyggende, og at sikkerheden indgår som en naturlig del af det daglige arbejde, samt at der er en klar sammenhæng mellem ledelsesansvar og ansvar for sikkerheden. Der foretages en årlig revision af Arbejdspladsvurdering (APV), hvor større forbedringer indarbejdes i planlægningsgrundlaget. Sikkerhedsarbejdet i den enkelte afdeling indgår som en fast del af den årlige vurdering af afdelingernes resultater, og til det formål er der siden 1998 udarbejdet en intern tilsynsrapport for hele Risø og for hver afdeling.

Risøs udledning til omgivelserne og påvirkningerne af medarbejderne ligger under de fastsatte grænser eller typiske værdier. På en række områder (overtrædelser af 'Betingelser for drift af nukleare anlæg', specielle rapporteringer, anmeldte arbejdsulykker og brande) er der i 2000 sket forbedringer set i forhold til 1999.

Sikkerhedsniveauet på Risø er generelt godt, men i overensstemmelse med Risøs sikkerhedspolitik tilstræbes en løbende forbedring.

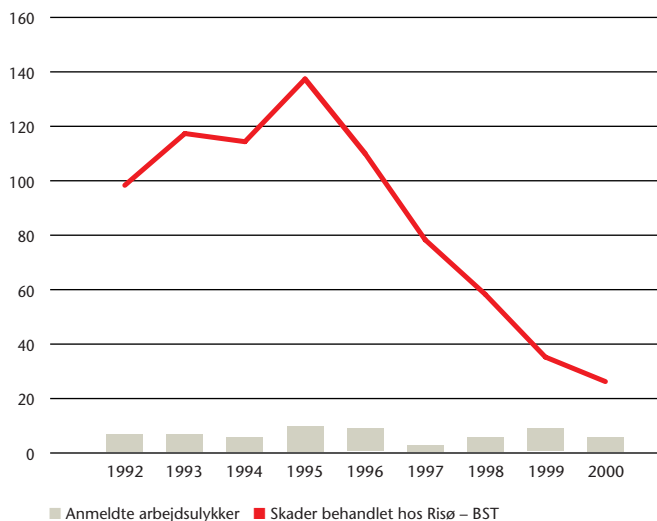
## Risøs grønne regnskab

Miljøtal for Forskningscenter Risø	Miljøtal 1999	Miljøtal 2000	Risø 2000	Grænseværdi eller typiske værdier <sup>a</sup>
<b>Påbud mv.</b>				
Påbud fra miljømyndighederne	0	0		
Henstillinger fra miljømyndighederne	0	0		
Påbud fra Arbejdstilsynet	0	0		
Vejledninger fra Arbejdstilsynet	1	0		
Grænseværdioverskridelser i spildevand	0	0		
Overtrædelser af 'Betingelser for drift af nukleare anlæg'	5	1		
Specielle rapporteringer for de nukleare anlæg	3	2		
<b>Risici/Sundhed og sikkerhed</b>				
Sygefravær <sup>b</sup> (fraværsdage)	5,0	5,6	5,6	8,6 Fraværsdage <sup>c</sup>
Interne ulykkesrapporter	17	13		
Skader behandlet hos Risø-BST <sup>d</sup>	35	26		
Anmeldte arbejdsulykker til Arbejdstilsynet	9	6	7 pr 1.000 <sup>e</sup>	9 pr 1.000 <sup>f</sup>
Anmeldte arbejdsulykker til Arbejdsstatistikstyrelsen <sup>g</sup>	6	3		
Brandalarmer	9	21		
Brande/tilløb til brande	4	2		
Maksimal individuel effektiv dosis <sup>h</sup> (mSv)	7,4	8,0	8,0 mSv	20 mSv <sup>i</sup>
Årlig kollektiv, effektiv dosis <sup>j</sup> (person-mSv)	169,7	150,8		
<b>Forbrug</b>				
Vandforbrug (m <sup>3</sup> )	63.822	75.390	81 m <sup>3</sup> /PE	62 m <sup>3</sup> /PE <sup>k</sup>
Elforbrug (MWh)	11.613	10.273	82 kWh/m <sup>2</sup> <sup>l</sup>	78 kWh/m <sup>2</sup> <sup>m</sup>
Varmeforbrug (MWh)	11.138	10.514	172 kWh/m <sup>2</sup>	176 kWh/m <sup>2</sup> <sup>n</sup>
Naturgasforbrug <sup>o</sup> (m <sup>3</sup> )	1.750.439	1.917.269		
Kølemidler <sup>p</sup> (kg)	212	122		
<b>Luftemissioner</b>				
<sup>41</sup> Argon (fra DR3) (GBq)	16.000	3.180	} 0,46 µSv/år <sup>r</sup>	} 200 µSv/år <sup>s</sup>
Tritium (tritieret vanddamp fra DR3) (GBq) <sup>q</sup>	16.000	27.700		
Iod (GBq)	Negligeabel	Negligeabel		
<sup>14</sup> C-kuldioxid (fra Behandlingsstationen) (GBq)	4	0		
Partikulært β-aktivitet (GBq)	Negligeabel	Negligeabel		
<b>Spildevand mm.</b>				
Spildevand (m <sup>3</sup> )	55.000	62.000	62.000 m <sup>3</sup>	182.500 m <sup>3</sup> <sup>t</sup>
Kemisk iltforbrug, COD (kg)	1.716	2.108	34,0 mg/l	
Biokemisk iltforbrug, BI <sub>5</sub> (kg)	160	124	2,0 -	15 mg/l
Suspenderet stof (kg)	242	279	4,5 -	20 -
Totalkvælstof (kg)	215	236	3,8 -	6 -
Totalfosfor (kg)	121	155	2,5 -	
pH	8,0	7,9	7,9	6,5-8,5
Bundfald (ml/l)	0,1	0,1	0,1 ml/l	0,5 ml/l <sup>u</sup>
Tungmetaller <sup>v</sup> (kg)	3,5	2,4		
Heraf udgør zink (kg)	3,2	2,2	35 µg/l	1.000 µg/l
Tritium med det destillerede aktive spildevand (GBq)	30.100 <sup>q</sup>	780	780 GBq	37.000 GBq <sup>w</sup>
Tritium i sekundært kølevand fra DR3 (GBq)	77	182	2,0 kBq/ml	370 Bq/ml
Uspecifik β-aktivitet i rensset spildevand <sup>x</sup> (GBq)	0,055	0,154	0,0025 Bq/ml	0,15 Bq/ml
<b>Spildevandsslam</b>				
Slammængde (tons)	11	4		
Tungmetaller <sup>y</sup> (g)	17.500	4.700		
Heraf udgør: Kviksølv (g)	57	21	5 mg/kg	0,8 mg/kg <sup>2</sup>
Cadmium (g)	57	13	3 -	0,8 -
Nikkel (g)	285	94	22 -	30 -
Bly (g)	422	106	25 -	120 -
Kobber (g)	3.110	1.130	266 -	1.000 -
Zink (g)	7.830	1.680	395 -	4.000 -
Uran (g)	57	21	5	2-10 -
<b>Affald</b>				
Affald til deponering uden for Risø (tons)	133	145		
Heraf udgør: Dagrenovation (tons)	77	64		
Blandet affald (tons)	50	74		
Kemisk affald (tons)	6	7		
Affald til genbrug (tons)	78	85		
Heraf udgør: Genbrugspapir og pap (tons)	31	37		
Metalskrot (tons)	45	41		
Affald til deponering på Risø (tons)	9	8		
Risøs eget lavaktive affald <sup>aa</sup> (tons)	6	4		
Lavaktivt affald fra andre steder i Danmark <sup>aa</sup> (tons)	2	2		

## Noter til Risøs grønne regnskab

- a Hvis Risøs godkendelser indeholder grænseværdier, er disse noteret. På nogle felter findes der ikke nogle grænseværdier. Til sammenligning er der i det omfang, det er muligt, angivet gennemsnitsværdier, som er karakteristiske for tilsvarende områder/felter. Sådanne gennemsnitsværdier er i kursiv.
- b Sygefraværet er incl. fravær pga. læge/tandlægebesøg og arbejdsskader, ekskl. barns første sygedag.
- c Gennemsnitlig antal fraværsdage for udvalgte sektorforskningsinstitutioner inkl. KVL i 1999.
- d Antallet af skader er, som tidligere år, opgjort som alle skader, der bliver behandlet af Risøs BST, dvs. udover Risøs egne medarbejdere også DMU, gæster og fremmede håndværkere.
- e Pr. 1.000 årsværk.
- f Pr. 1.000 ansatte i forskning og udvikling inden for naturvidenskab og teknik. For undervisning og forskning som helhed 10 ulykker/1.000 ansatte. Kilde: Anmeldte arbejdsskader. Årsopgørelse 1996. AT-rapport nr. 2.
- g Antallet af anmeldelser foretaget via Risø, dvs. at anmeldelser foretaget af andre instanser (for eksempel praktiserende læger/hospitaler) indgår ikke.
- h Maksimal individuel effektiv dosis: Den individuelle effektive dosis er defineret som summen af ækvivalent dosis til de enkelte organer ganget med deres respektive væsvægtfaktorer. Den maksimale individuelle effektive dosis svarer til den maksimale dosis, som en enkelt medarbejder har modtaget.
- i Strålingsbeskyttelse: Inden for strålingsbeskyttelsen anvendes dosisbegrænsningsprincippet, som siger, at doser fra erhvervmæssig strålingsudsættelse skal holdes så lave, som det med rimelighed kan opnås, og at doser ikke må overskride de af myndighederne fastsatte dosisgrænser.
- j Den kollektive dosis til Risøs medarbejdere er defineret som summen af alle individuelle (effektive) doser.
- k Roskilde Kommunes spildevandsplan fra 1988.
- l I det arealmæssige elforbrug er DR 3 og RERAF ikke medregnet, da disse forbrug er særlige for Risø.
- m Det gennemsnitlige arealmæssige elforbrug for undervisning og forskning. For kontor og handel er elforbruget 51 kWh/m<sup>2</sup> (Energistyrelsen, 1999).
- n Det gennemsnitlige arealmæssige varmeforbrug for undervisning og forskning. For kontor og handel er varmeforbruget 113 kWh/m<sup>2</sup> (Energistyrelsen, 1999).
- o Hovedparten af naturgassen bliver brugt til fremstilling af varme og el til Risø, DMU og de øvrige institutioner på Risøs område.
- p Opgørelse over forbrug af fuldt og delvist halogenerede kulbrinter, der anvendes til køleformål.
- q Ekstraordinært stort pga. utæthed på DR 3
- r Doserne fra udslip af tritium, argon og iod er effektive doser til en fiktiv person, der opholder sig ved Risø hegn på samme sted hele året.
- s Det maksimale bidrag fra virksomheder som Risø er foreslået af forskellige nationale myndigheder og internationale organisationer til mellem 100-300 mSv/år.
- t Grænseværdien er beregnet ud fra den mængde spildevand, der må udledes pr. døgn i tørvej.
- u Vejledende krav for, hvor meget bundfældeligt stof der må være efter 2 timers henstand.
- v Det samlede indhold af tungmetaller, som Risø analyserer spildevandet for. Der analyseres for bly, cadmium, kobber, zink og uran. (Tungmetal: Metal med vægtylde over 5 g/cm<sup>3</sup>).
- w Middeludslip over de sidste 5 år gange 10, dog med udeladelse af det unormalt høje udslip i 1999. Risø skal rapportere til myndighederne, hvis det årlige udslip er 10 gange middeludslip.
- x Uspecifik β-aktivitet: Total aktivitet for ikke-specifiserede isotoper.
- y Det samlede indhold af tungmetaller, som Risø analyserer slammet for. Der analyseres for arsen, bly, cadmium, chrom, cobolt, kobber, kviksølv, lanthan, mangan, nikkel, praseodym, zink, thorium og uran.
- z Grænseværdierne for indhold af tungmetaller i slam er gældende, hvis slammet skal anbringes på jord, der skal anvendes til landbrugsmæssige formål. Risøs slam anvendes p.t. ikke til dette formål, men deponeres på Risøs kontrollerede losseplads.
- aa Det lavaktive affald, der deponeres midlertidigt på Risø, stammer dels fra Risø egen aktivitet og dels fra det øvrige Danmark, hvorfor Risø er forpligtet til at modtage kasseret radioaktivt materiale. Det lavaktive affald er radioaktivt affald, hvorfra dosishastigheden i 1 m afstand fra affaldsbeholderens overflade ikke overskrider 5 mSv/h.

**Arbejdsulykker**  
Skader behandlet hos Risø-BST og arbejdsulykker anmeldt til Arbejdstilsynet



Risø's miljølter er angivet for 1999 og 2000. Der er angivet grænseværdier eller typiske referenceværdier, således at Risø's niveau-er kan vurderes i forhold til disse.

Risø's miljølter for 2000 er generelt bedre end for 1999 undtagen for udslip af tritium og antal af brandalarmer.

I 2000 blev det besluttet permanent at nedlukke forskningsreaktor DR3. Anledningen var, at man konstaterede begyndende tæring i reaktoren og derefter vurderede nytte og omkostninger ved fortsat drift.

Risø's udslip af tritium som luftemission er højere end normalt i 1999 og 2000 hidrørende fra en læk i et drænrør i DR3 i 1999. Det forhøjede tritiumniveau gav ikke anledning til overskridelse af fastsatte niveauer for udslip.

I 2000 har antallet af brandalarmer været større end for 1999. I 2000 har antallet af ombygningsprojekter været højt i forhold til 1999, hvilket kan forklare det øgede antal af alarmer. De 2 brande/tilløb til brand, der har været i 2000, har ikke givet anledning til større skader eller økonomiske tab.

I 2001 vil Risø sammen med Roskilde Brandvæsen ændre sin procedure, således at Roskilde Brandvæsen ikke unødigt bliver alarmeret.

I 2000 blev Risø's beredskabsorganisation ændret, og Risø's sikkerhedsstyringsprojekt er dermed tilendebragt. Sikkerhedsstyringsprojektet har desuden indeholdt en formulering af Risø's sikkerhedspolitik, en ændring af Risø's sikkerhedsorganisation og en ændring af Risø's nukleare sikkerhedsorganisation.

I 2000 blev der oprettet lokale beredskaber og opsat sikkerhedsplaner i alle afdelinger. Alle medarbejdere fik et genopfriskningskursus i elementær brandbekæmpelse, og der blev udført brandforbedringer på Risø's nukleare anlæg inklusive opsætning af nye brandalarmeringsanlæg med direkte alarm til Roskilde brandvæsen. Risø's eget brandvæsen blev nedlagt.

Risø's nye sikkerhedsorganisation blev internt evalueret med et positivt resultat, idet der var generel enighed om, at den systematiske inddragelse af ledelsen på alle trin i sikkerhedsorganisation har givet en forbedring af sikkerhedsarbejdet på Risø.

Antallet af skader behandlet af Risø-BST er faldet markant siden 1995, medens det samme ikke er tilfældet for antallet af anmeldte arbejdsulykker til Arbejdstilsynet. I 2000 blev der gennemført en undersøgelse af de sidste fem års anmeldte ar-

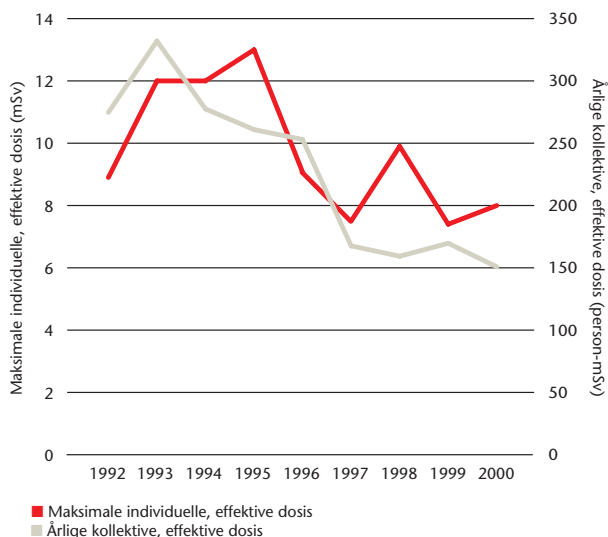
bejdsulykker til Arbejdstilsynet. På baggrund af resultatet herfra vil Risø i 2001 gøre en specifik indsats for at reducere antallet af arbejdsulykker i værksteder og lignende samt en generel forebyggende ergonomisk indsats for særligt udsatte grupper.

Risø har udbygget sit rensningsanlæg, således at det siden 1996 også har indeholdt kvælstoffjernelse. Efter en indkøringsperiode har Risø siden 1998 kunnet overholde de nye udledningskrav for kvælstof på 6 mg/liter.

Da myndighederne generelt er begyndt at fokusere på virksomheders affaldshåndtering, har Risø i 1999 og 2000 valgt at udspecificere affaldstyperne.

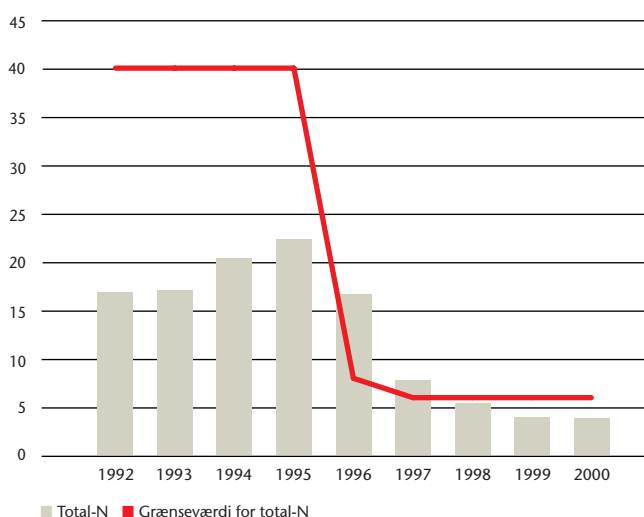
**Individuel og kollektiv dosis**

Den maksimale individuelle, effektive dosis og den årlige kollektive dosis for hele Risø



**Total-N**

Gennemsnitskoncentrationen af total-N i spildevandet og grænseværdi (mg N/l)



## Det ny Risø

I november 2000 vedtog Risøs bestyrelse en ny strategi for et nyt Risø uden nukleare anlæg, efter det i september 2000 blev besluttet at lukke forskningsreaktor DR3 permanent.

### Mission

At fremme en værdiskabende og miljømæssigt forsvarlig teknologisk udvikling inden for energi, industriel teknologi og bioproduktion gennem forskning, innovation og rådgivning.

### Vision

At præge den internationale udvikling gennem forskning der danner basis for udvikling af nye produkter og rådgivning til gavn for miljø, sundhed og velstand. Indsatsen fokuseres på områder, hvor forskningen imødekommer behov og skaber nye muligheder for erhvervslivet og den øvrige del af samfundet.

### Resultater

At levere ny viden, nye teknologier, innovativ produktudvikling samt forskningsbaseret rådgivning.

Risøs virksomhed i 2000 berettes i følgende publikationer: Risø Årsberetning (dansk og engelsk), Risø's Virksomhedsregnskab (dansk) samt de syv forskningsafdelingers årsberetninger (engelsk). Alle publikationer og uddybende materiale findes på Risø's webserver, [www.risoe.dk](http://www.risoe.dk). De trykte publikationer kan fås ved henvendelse til Afdelingen for Informationsservice, telefon 4677 4004, email [risoe@risoe.dk](mailto:risoe@risoe.dk), fax 4677 4013.

Forskningscenter Risø  
April 2001  
Risø-R-1222(DA)

Redaktion: Leif Sønderberg Petersen  
Eva Max Andersen  
Marianne Ryde  
Sekretær: Inge Ilsøe  
Design: Rumfang 01024-29  
Tryk: CenterTryk, Holbæk

ISBN 87-550-2781-4  
ISBN 87-550-2782-2 (Internet)  
ISSN 0106-2840  
ISSN 0106-2557  
ISSN 1399-7114 (Internet)



