

VETENSKAPSRÅDETS  
PROPOSITIONSUNDERLAG 2005–2008

Ämnesrådet för naturvetenskap  
och teknikvetenskap

# Kunskap om vår värld ger kunskap för utveckling – forskningsfronter inom naturvetenskap och teknikvetenskap



VETENSKAPSRÅDET  
THE SWEDISH RESEARCH COUNCIL

Vetenskapsrådet  
(The Swedish Research Council)  
103 78 Stockholm

© Vetenskapsrådet  
ISBN 91-7307-036-X  
ISSN 1651-7350  
Omslag: SOYA  
Inlaga: Lena Wennerstén Illustrationer & Grafisk form  
Tryck: Danagårds grafiska, Ödeshög 2003

”Detta kommer du att inse om du anstränger dig något  
ty det ena efter det andra kommer att klarna och  
den blinda natten kommer inte att hindra din färd  
utan du kommer att se naturens djupaste hemligheter;  
så ska tingen kasta ljus över tingen.”

*De rerum natura* (Om världsalltet)  
Lucretius, 95–55 f.Kr.

# Innehåll

Förord .....	7
Nya områden, tvär- och mångvetenskap .....	9
REFERENSGRUPP I	
Geologi och geofysik .....	14
Processer i mark, luft och vatten .....	20
Ekologi och biologisk mångfald .....	27
REFERENSGRUPP II	
Organismbiologi .....	37
Cell- och molekylärbiologi .....	43
Biokemi och biofysik .....	50
Bioteknik .....	58
REFERENSGRUPP III	
Organisk, oorganisk och analytisk kemi .....	63
Fysikalisk och teoretisk kemi .....	71
Kemiteknik .....	78
REFERENSGRUPP IV	
Halvledarfysik, elektronik, elektroteknik och fotonik .....	84
Teknisk fysik .....	89
Materialvetenskap .....	96
Medicinsk teknik .....	102
REFERENSGRUPP V	
Subatomär fysik och astrofysik .....	107
Atom- och molekylfysik, rymd- och plasmafysik samt fusion .....	119
Kondenserade materiens fysik .....	127
REFERENSGRUPP VI	
Matematik och teknisk matematik .....	132
Datavetenskap .....	141
Signaler och system .....	147
Teknisk mekanik .....	154
Energi .....	165
Akronymlista .....	171

# Förord

Ämnesrådet för naturvetenskap och teknikvetenskap har under år 2003 arbetat med underlaget inför den förestående forskningspolitiska propositionen. Ämnesrådets underlag presenteras i två delar som beskriver forskningsstrategier respektive forskningsfronter inom naturvetenskap och teknikvetenskap.

Forskningsstrategierna redovisar ämnesrådets prioriteringar och önskemål inför de kommande åren och ingår i Vetenskapsrådets forskningsstrategier 2005 – 2008: ”En stark grundforskning i Sverige”, rapport nr 2003:11. Strategierna finns också som ett särtryck: ”Kunskap om vår värld ger kunskap för utveckling – forskningsstrategier inom naturvetenskap och teknikvetenskap”, rapport nr 2003:12.

Forskningsfronterna presenteras i denna rapport och de beskriver svensk forsknings ställning i ett internationellt perspektiv. Beskrivningarna visar såväl bredd som styrka inom flera delområden, men också brister. Bilden av den svenska naturvetenskapliga och teknikvetenskapliga forskningen är tydlig: det finns en outnyttjad potential.

Texten är uppdelad i 23 avsnitt grupperade i sex avdelningar, huvudsakligen efter ämnesrådets beredningsgrupper respektive referensgrupper. Det är dessa grupper som i första hand har utformat innehållet, vilket därpå har fastställts av ämnesrådet.

Beskrivningen av forskningsfronterna är framtagen som en del av Vetenskapsrådets underlag till regeringens arbete med forskningspropositionen. Rapporten är också avsedd för ämnesrådets interna arbete och är av intresse även för forskare, övriga forskningsfinansierare, universitet och högskolor, industri och näringsliv samt andra som är intresserade av forskning.

Mer om naturvetenskapens och teknikvetenskapens forskningsfronter finns på [www.vr.se/forskningsfronter](http://www.vr.se/forskningsfronter). Där presenteras för varje avsnitt alla de projekt som ämnesrådet stödjer.

Stockholm i oktober 2003



Kåre Bremer  
Huvudsekreterare

# Nya områden, tvär- och mångvetenskap

## BEDÖMNING

- ▶ Tvär- och mångvetenskap blir alltmer betydelsefull inom naturvetenskapen och teknikvetenskapen. I många fall är tvär- och mångvetenskap nödvändig för att utföra ett forskningsprojekt med hög internationell kvalitet.
- ▶ Särskild beredning av nya områden samt tvär- och mångvetenskap ger utrymme för nya initiativ som i vissa fall innebär högriskprojekt.
- ▶ Området medicinsk teknik har vuxit i omfattning och kvalitet. Dess storlek och styrka motiverar en egen beredningsgrupp inför kommande utlysningar.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Tvär- och mångvetenskap skapar nya områden

Nya områden etableras kontinuerligt inom naturvetenskap och teknikvetenskap. Många av dessa är tvärvetenskapliga. Samtidigt pågår en trend mot ökad mångvetenskap. Nya områden, tvärvetenskap och mångvetenskap finns representerade inom samtliga ämnesområden i detta dokument, vars indelning i stort motsvarar ämnesrådets beredningsgrupper.

Ett antal projekt och projektansökningar kan inte på ett enkelt sätt inordnas i de ordinarie beredningsgrupperna utan behandlas i en särskild grupp för nya områden, tvär- och mångvetenskap. Inom denna prioriteras projekt med anknytning till exempelvis miljö, medicin, medicinsk teknik, mätteknik, fjärranalys, ekonomi, arkeologi samt anläggnings-, rymd- och byggnadsteknik.

De flesta projekten är tvärvetenskapliga där kompetens från flera områden – till exempel processer i mark, luft och vatten, bioteknik, biokemi och biofysik, kemiteknik, cell- och molekylärbioologi, medicin, teknisk fysik, materialvetenskap, matematik och teknisk matematik, datavetenskap, signaler och system samt tek-

nisk mekanik – ingår i projektet. Med tiden kan nya livskraftiga forskningsområden etableras som resultat av de satsningar som görs efter beredningsgruppens prioriteringar och även med stöd från andra forskningsfinansiärer. På sikt kan dessa områden komma att naturligt ingå i någon av de ordinarie beredningsgrupperna eller bli en egen beredningsgrupp beroende på omfattning. Styrkan med en beredningsgrupp för nya områden med tvär- och mångvetenskap är att den tillåter högriskprojekt som annars inte skulle finna sin hemvist. Den kan också ge laborativa resurser till ett område som normalt inte har den typen av resurser. Genom att skapa embryon till nya forskningsområden fungerar beredningsgruppen som ett växthus där nya konstellationer prövas. De livskraftiga områdena växer och är till slut redo att antingen införlivas med en närliggande beredningsgrupp där utvecklingen har gått i riktningen mot det nya området eller så skapas en ny beredningsgrupp. Medicinsk teknik är exempel på ett område där omfattning och kvalitet motiverar en ny beredningsgrupp.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Ofta stora projekt

Tvärvetenskap kräver kompetens från flera olika forskningsområden för att uppnå hög kvalitet och god kompetens. Detta kan medföra stora projekt där flera personer behöver finansiering. I dagens finansieringsläge med en mycket begränsad budget är det svårt att ge utrymme för finansiering av många personer. På grund av detta bromsas och begränsas utvecklingen av nya områden.

Det finns idag flera stora projekt med ett starkt mångvetenskapligt angreppssätt inom naturvetenskap och teknikvetenskap. De större rambidrag som först infördes inom teknikvetenskapen har framförallt bidragit till denna utveckling. Svagheten i dagens system är de begränsade projektbidragen som inte ger utrymme för att ett forskningsfält angrips med flera olika metoder.

Tvär- och mångvetenskap spänner också över ämnesrådsgränserna. Antalet ansökningar med sådana breda tvär- och mångvetenskapliga ansatser är emellertid litet och skulle kunna vara fler.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Tvär- och mångvetenskap allt vanligare

Den viktigaste karaktären är att tvär- och mångvetenskap kommer att bli allt vanligare och viktigare. I många fall blir tvär- och mångvetenskap nödvändigt för att utföra ett forskningsprojekt med hög internationell kvalitet. Detta uppmärksammades bland annat i början av 1990-talet då elva materialkonsortier

bildades. Utfallet av forskningen inom dessa konsortier har varit mycket gott sett i ett internationellt perspektiv, och en av orsakerna till detta har varit deras tvärvetenskapliga natur. Satsningen och dess resultat har lett till nya tvärvetenskapliga initiativ och program.

Förmågan att kunna tillverka samt kontrollera, modifiera, manipulera, karaktärisera och modellera nanostrukturer och deras egenskaper öppnar nya möjligheter för forskning, utveckling och nya tillämpningar. Stora satsningar genomförs internationellt och området kommer att vara mycket intensivt de kommande tio åren. Nanoområdet kräver tvär- och mångvetenskapliga angreppssätt. Modellering och datahantering är andra nyckelområden där det sker en snabb utveckling och som kombinerar kunskap inom flera ämnesområden.

Bättre levnadsvillkor i kombination med god hälso- och sjukvård gör att medellivslängden ökar. Sjukvårdens karaktär ändras och en större betoning på hemvård och vård i alternativa boendeformer ställer nya krav på hjälpmedel i en decentraliserad vård. Det är aktuellt med bland annat intelligenta sensorer och signalbehandling för fjärrdiagnos. Dessutom ökar behovet av implantat och vävnadsteknik. Det senare har också en potential för utveckling av behandlingsmetoder för sjukdomar som drabbar även den yngre befolkningen, till exempel diabetes. Nya viktiga frågeställningar inom medicinsk teknik förutspås.

Sensorer är inte bara viktiga inom medicinsk teknik utan även inom många andra områden. Möjligheten till fjärranalys och diagnostisering är aktuell inom bland annat livsmedelsområdet, för mätningar i ohälsosamma miljöer och vid minimering av miljöfarliga utsläpp. Frågeställningarna och angreppsmetoderna är tvär- och mångvetenskapliga. Ett annat område som blir allt viktigare är utvecklingen mot ett hållbart samhälle. Även här har de flesta frågeställningarna en tvär- och mångvetenskaplig karaktär och blir alltmer angelägna.

## STRATEGIER

### Satsa på forskarna i mellankategorin

Nanovetenskap är ett område som utvecklas snabbt. Många projekt har en tvärvetenskaplig karaktär, vilket innebär att beredningsgruppen för nya områden, tvär- och mångvetenskap kan få en viktig roll för utvecklingen av nya starka forskningsområden där nya effekter och ”nanoverktyg” skapar oanade möjligheter.

Merparten av projekten inom nanovetenskap är beroende av tillgång till analys och karaktärisering av material. Det är därmed viktigt att det finns en fungerande infrastruktur för tillgång till analys av hög kvalitet och utveckling av nya tekniker. I vissa fall kan denna infrastruktur behöva inrättas.





*Tvär- och mångvetenskap blir alltmer betydelsefull inom naturvetenskapen och teknikvetenskapen. I många fall är tvär- och mångvetenskap nödvändig för att utföra ett forskningsprojekt med hög internationell kvalitet.*

Arkeologer, osteologer och genetiker samarbetar för att förstå hur Skandinavien koloniserades för omkring 5 000 år sedan. Det finns spår som berättar att det vid denna tid fanns tre olika kulturer och två olika folkslag: germaner och samernas förfäder. Kulturernas ursprung eller inbördes relation känner man dock inte till. Från DNA i människoben som hittas i arkeologiska utgrävningar förväntas nya ledtrådar som kan förklara om de tre kulturerna speglar forntida folkvandringar eller övergångar från ett kulturellt skede till ett annat.

Foto: Björn Röhsman, Naturfotograferna

Satsningen på unga forskare är positiv och viktig för områdets utveckling. Det är viktigt att inte glömma bort forskarna i ”mellankategorin”, det vill säga de som inte tillhör kategorierna ung forskare eller excellent forskare. Det är viktigt för området att en ung forskare som initierar ny forskning får möjlighet att följa upp den även när han/hon inte längre är en ung forskare. En satsning på mellankategorin (rådsforskare och lektorer) är därför befogad.

Medicinsk teknik ryms idag inom beredningsgruppen nya områden tvär- och mångvetenskap. Området har dock vuxit i omfattning och kvalitet, så dess storlek och styrka motiverar en egen beredningsgrupp i framtiden.

#### SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Projekten kräver finansiering från flera håll

En ansökan får sällan full finansiering. Det är också ovanligt att det beviljade beloppet motsvarar en full finansiering av till exempel en doktorandtjänst. Detta innebär att de flesta projekt kräver tilläggsfinansiering från en annan källa, vilket i sin tur betyder mer arbete för de projektansvariga. Det kan också medföra att projektet inte får den renodlade inriktning som beskrevs i ansökan.

# Geologi och geofysik

## BEDÖMNING

- ▶ En vetenskapligt väsentlig fråga med stor samhällsrelevans är hur klimatet på vår planet varierar. Kunskap om omfattningen av naturliga respektive antropogena effekter på klimatet är nödvändig för att skapa tillförlitliga klimatförutsägelser. Därför behövs en riktad satsning mot paleoklimatologisk forskning.
- ▶ För att kunna behålla den internationellt ledande roll svensk forskning har inom delar av ämnesområdet är det nödvändigt att vidta kraftfulla åtgärder för att säkerställa kompetensförsörjningen på medellång till lång sikt.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Hur uppkom livet?

Geologi och geofysik berör materialen och processerna i planeten Jorden samt planetens och dess biosfärs utveckling. Detta breda forskningsfält omfattar allt från frågor om jordkärnans karaktär och den fasta jordens dynamik till frågor om livets uppkomst och klimatets utveckling under planetens historia. Traditionella discipliner inom ämnesområdet är berggrundsgeologi, fasta jordens fysik, geoteknik, kvartärgeologi, mineralvetenskap, naturgeografi, paleozoologi, paleobotanik, sedimentologi med flera.

De vetenskapliga frågekomplexen inom detta stora fält berör frågor med stor relevans för den mänskliga existensen på vår planet. De är exempelvis kopplade till vår råvaru- och energiförsörjning och hur vi hanterar dessa naturens gåvor på ett förnuftigt sätt. Livets uppkomst och utveckling är fundamentala områden med kopplingar till biologin och vår kunskap om hur livets träd växte fram.

Forskning om klimatets utveckling ger oss information om hur olika faktorer samverkar och därigenom styr vårt klimat, exempelvis sambandet mellan

solfläcksaktivitet och vulkanaktivitet eller stora meteoritnedslag. Ett viktigt inslag för forskningen inom ämnesområdet är alltså att belysa och tolka de naturliga informationsarkiv som planetens berggrund och lösa avlagringar utgör. Förutom fältintensiva inventeringar är experimentella studier och modelleringar viktiga angreppssätt. Detta innebär att många av de koncept och arbetsverktyg som tillämpas inom biologisk, fysisk och kemisk forskning också finner användning inom den geologiska forskningen. Med de omfattande frågekomplex som forskningen inom ämnesområdet söker besvara är det naturligt att denna forskning kännetecknas av ett stort mått av gränsöverskridande.

## Flercelliga organismers utveckling

Forskning inom geologi och geofysik utnyttjar ett antal större anläggningar i landet. Hit hör jonmikrosonden vid Naturhistoriska riksmuseet och partikelacceleratorer vid fysikinstitutioner i Lund och Uppsala. Av nationella anläggningar har Onsala observatoriet stor betydelse för forskning kring jordskorpans dynamik. MAX-laboratoriet i Lund bedöms att efter den planerade utbyggnaden bli en viktig facilitet för forskning inom geokemi och mineralvetenskap. Logistik och faciliteter tillgängliga inom stora internationella projekt som internationella oceanborrningsprogrammen (ODP och IODP) samt storskaliga geologiska korrelationsprogram (IGCP och EUROPROBE) är mycket viktiga för forskningen inom ämnesområdet.

Under de senaste tio åren har svensk grundforskning inom ämnesområdet lett till bland annat ny grundläggande kunskap om tidsgränserna för utvecklingen av flercelliga organismer och om jordkärnans karaktär. Dessa resultat har skapat nya perspektiv på jordens och livets utveckling och de har initierat ny internationell forskning.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Svenska forskare i de främsta tidskrifterna

Svensk forskning inom området geologi och geofysik har en stark ställning internationellt sett. De positiva utfallen av internationella utvärderingar av den svenska forskningen inom området är belysande exempel på detta. Det finns flera starka forskningsmiljöer med världsledande forskare, vars vetenskapliga artiklar publiceras i de främsta vetenskapliga tidskrifterna såsom *Science*, *Nature* och *Earth and Planetary Science Letters*. Artiklarna citeras flitigt och har på ett avgörande vis bidragit till förståelsen av viktiga sammanhang.

Exempel på svensk forskning som tillhör den internationellt ledande är inom områden som global klimatutveckling, asteroidkollisioner, livets uppkomst och

utveckling samt jordskorpan dynamik, jordmanteln och jordkärnans tillstånd. I ett tillbakablickande perspektiv har den svenska forskningen inom området behållit eller möjligen flyttat fram sina positioner. Forskningens inriktning har dock ändrats och utvecklingen för olika delområden varierar.

Paleoklimatologi, paleontologi med inriktning mot frågor kring livets ursprung och utveckling samt forskning fokuserad på uppbyggnaden av och processer i planeten Jordens djupare delar är starka nationella forskningsområden i dagsläget. Tektonik och strukturgeologi, forskning om bergartsbildande processer i de övre delarna av jordklotet, malmgeologi, sedimentologi och geomorfologi är traditionellt starka forskningsområden. Dessa delområden hade framskjutna positioner inom den geologiska forskningen för tio år sedan, men idag är positionerna mindre framskjutna.

## Lokala beslut negativa

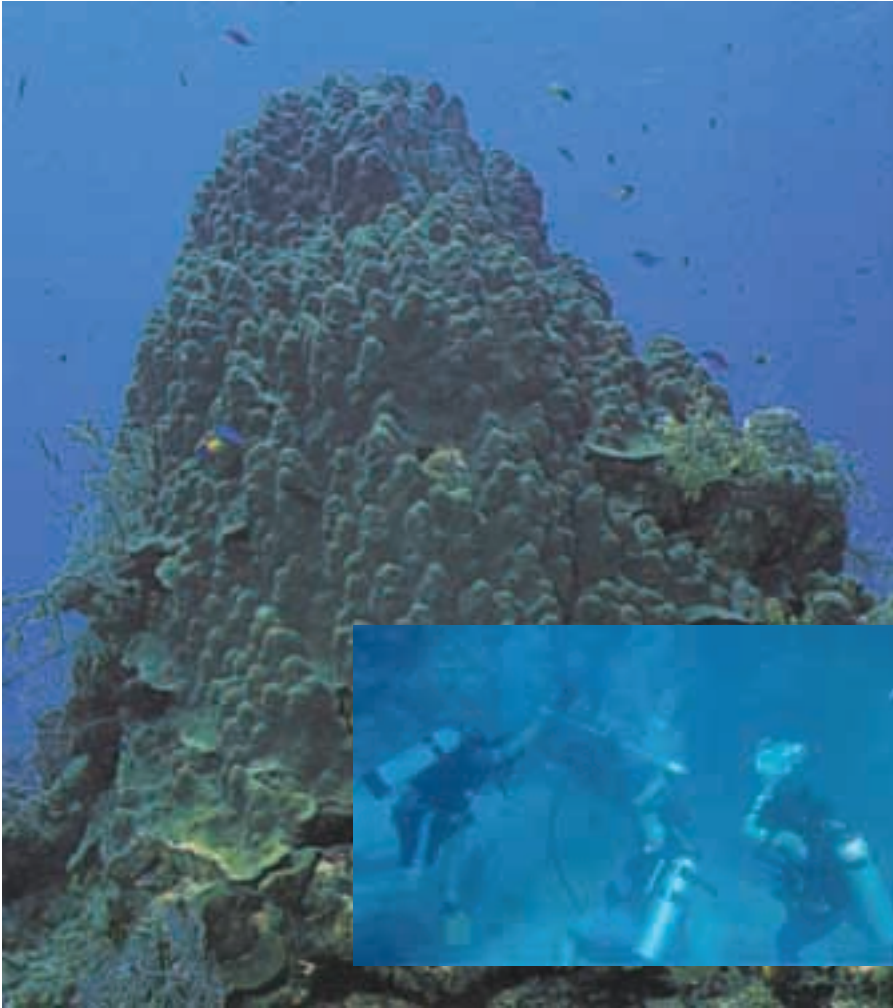
Flera grenar av geologi och geofysik finns i dag inte representerade inom svensk forskning. Vissa traditionellt starka forskningsområden har under de senaste tio åren utan medvetna övergripande beslut försvagats eller decimerats. Som effekt av en serie lokala beslut som inte har varit samordnade nationellt har svensk forskning inom exempelvis malmgeologi förlorat den mycket starka ställning området hade tidigare. Av samma orsaker riskerar forskningen kring bergartsbildande processer, tektonik och strukturgeologi samt viktiga delar av de geofysiska och naturgeografiska forskningsfälten att utvecklas på ett likartat negativt sätt.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Ökande internationalisering

Svensk forskning inom geologi och geofysik har traditionellt haft en mycket stark ställning, men situationen just nu är mycket oroande. Forskningsbasen vid universitet och högskolor har allvarligt underminerats de senaste åren. Flera geologiska institutioner har inte längre resurser för doktorand- och forskarassistent-tjänster. Förnygringen är allvarligt hotad. Visserligen har Vetenskapsrådet satsat på unga forskare, men trots detta lämnar många mycket duktiga unga forskare sina tjänster. Problemet är att vi i Sverige inte har något långsiktigt trygghets-system, liknande exempelvis det amerikanska *tenure track*-systemet, vilket innebär en fast karriärväg för de bästa forskarna.

Under det senaste decenniet har forskningen inom ämnesområdet integrerat olika discipliner allt mer. Forskningssamarbete över traditionella gränser har varit nödvändigt för att effektivt kunna angripa och besvara frågor som rör plane-



*En vetenskapligt väsentlig fråga med stor samhällsrelevans är hur klimatet på vår planet varierar. Kunskap om omfattningen av naturliga respektive antropogena effekter på klimatet är nödvändig för att skapa tillförlitliga klimatförutsägelser.*

Övre bilden: Tropiska korallrev studeras för att avläsa naturliga variationer i klimatet under århundradenas lopp. Koraller växer långsamt i lager ungefär som årsringar i ett träd. I lagren finns spår av havsvattnets sammansättning som avslöjar klimatförhållanden, t.ex. nederbörd, vindstyrka, temperatur och salthalt i vattnet. Genom att studera lagren med röntgenstrålning avläses klimatet år för år bakåt i tiden de senaste 1000 åren. Resultatet jämförs med andra faktorer för att utröna den mänskliga påverkan på klimatet. Foto: Johan Nyberg

Nedre bilden: En rörformad borrh används för att ta ut en borrhärna ur korallen vars lager sedan studeras för att avläsa förändringar i klimatet de senaste 1000 åren. Foto: Johan Nyberg

ten Jorden som ett dynamiskt system. Likaledes har teknikutveckling medfört att hypoteser, existerande eller nya, slutligen har kunnat utvärderas experimentellt. Denna utveckling har lett till uppkomsten av nya ämnesområden. Många av dessa har uppstått i skärningsytorna mellan geologi och biologi eller kemi. Under tioårsperioden har betydelsen av internationella projekt med kraftfullt logistiskt stöd för datainsamling och tillgång till tolknings- och modelleringsfaciliteter ökat. Forskningens internationalisering inom området har ökat på alla plan.

Under de närmaste åren bedöms modellering få en mer framträdande roll som en integrerad komponent inom alla delområden. Nya områden som exempelvis klagör växelverkan mellan organismer och oorganisk materia kommer med stor sannolikhet att utvecklas starkt. Här finns inte bara kunskapsbehov från en grundforskningssynpunkt utan också samhällsrelevanta behov kopplade till akuta miljöfrågor, som exempelvis återställande av förorenade mark- och vattenområden.

## STRATEGIER

### Förbättra dialogen mellan lärosätena och Vetenskapsrådet

För att åtgärda påtagliga problem med kompetensförsörjningen inom flera av områdets deldiscipliner är en förbättrad dialog mellan universitet/högskolor och Vetenskapsrådet nödvändig. En övergripande koordinering av resurser mellan universitet och forskningsråd med syfte att skapa förutsättningar för ett *tenure track*-system är ett viktigt steg på vägen.

Forskning inom geofysik och geoteknik har en liten volym i dagsläget. Samtidigt är dessa grenar viktiga för modellering och för validering av centrala hypoteser inom andra geodiscipliner samt för att tillgängliggöra den geologiska forskningens landvinningar. Dessa båda delområden är företrädda i nämnvärd omfattning endast vid enstaka lärosäten och är därmed sårbara för lokala beslut tagna utan någon som helst övergripande nationell konsekvensanalys.

Ett vetenskapligt viktigt område med stor samhällsrelevans är paleoklimatologi. Ett klimatfokuserat insatsområde med potentialen att tematiskt fokusera forskningen inom flera traditionella geodiscipliner (till exempel kvartärgeologi, naturgeografi och paleontologi) är starkt motiverat. Ett sådant insatsområde skulle bidra till att utveckla nödvändiga kontaktytor mot bland annat ekologisk, geofysisk, meteorologisk och hydrologisk forskning.

## Viktiga resurser behöver tas om hand

Vetenskapsrådet bör öka möjligheterna till finansiering av medeldyr utrustning. Under de senaste åren har ansökningar om utrustning i detta prisintervall haft svårt att konkurrera med andra i sig angelägna ansökningar om projektbidrag. Den låga andelen av beviljad medeldyr utrustning är på lång sikt negativ.

Vetenskapsrådet bör också överväga att skapa ett särskilt program för finansiering av forskning i nätverk bestående av grupper vid olika universitet och högskolor. Ett sådant program skulle skapa en ram för att mer effektivt ta till vara resurser som är spridda i landet. Genom programmen skulle kostnadsineffektiv hantering av instrumentella och personella resurser i form av teknisk support kunna undvikas. Nätverken skulle även öka fysisk och mental mobilitet samt lokalt öka basen för forskarhandledning.



# Processer i mark, luft och vatten

## BEDÖMNING

- ▶ En av framtidens största utmaningar är att hantera klimatfrågan på ett relevant sätt. Därför behövs en riktad satsning mot klimatforskning.
- ▶ För att behålla den internationellt ledande roll svenska forskare har inom delar av ämnesområdet krävs en rejäl satsning på att hålla unga forskare kvar i forskarvärlden efter att de tidsbegränsade karriärsanställningarna gått ut. Med andra ord så behövs ökade resurser till de starka forskningsområdena.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Starka kopplingar till klimatet

En stor del av forskningen inom detta ämnesområde är kopplat till klimatfrågan. Det gäller bland annat omfattande studier av de terrestra och marina kolflödena, inklusive de biogeokemiska processer som är viktiga för dessa. Det handlar också om molnbildning och dess betydelse i strålningsbalansen, havens strömmar och deras transport av värme och kemiska ämnen, samt mikronäringsämnen (framför allt järn) tillgänglighet för marin biologisk produktion.

Inom dessa frågeställningar har polarforskningen haft en framträdande roll under de senaste drygt tio åren, som har lett till att Sverige idag är en av de ledande nationerna vad gäller forskning i högarktisk. Denna framgång hade inte varit möjlig utan de polarexpeditioner som organiseras inom Polarforskningssekreteriatets ramar.

Annan forskning omfattar vattentransport i mark och berg, komplexbildning av metaller i denna miljö och den mikrobiella aktivitetens påverkan på detta. Vidare ryms studier av biogeokemiska processer i mark, till exempel vittring och jordmånsbildning och dess betydelse för transporten av olika kemiska ämnen samt trädens näringsupptag. Ett starkt kommande forskningsområde är stu-

dierna av den djupa biosfären. Denna forskning genomförs bland annat inom ramen för det internationella oceanborrningsprogrammet ODP/IODP. Forskningen omfattar dels det omfattande mikrobiella livet långt ner i mark och berg, dels det extrema liv man finner kring de varma källorna längs oceanernas spridningsryggar.

Parallellt med ovan nämnda processtudier sker en bitvis omfattande teoretisk behandling av de geokemiska systemen. Det är allt från avancerad numerisk modellering till statistisk beskrivning av olika system.

## Forskning för samhället

Svensk forskning har inom flera områden varit starkt kopplad till frågor som är identifierade av organisationer som till exempel *World Climate Research Programme* (WCRP), *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) och *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO). Därmed finns ett stort mått av internationellt samarbete som har givit framgångsrika resultat.

Den svenska forskningen i arktis har exempelvis bidragit stort till de senaste femton årens enorma kunskapsökning om arktiska oceanens vattenmassor, dess bildning och cirkulation. När det gäller svensk forskning om den djupa biosfären så har vi haft en ledande internationell ställning under senare år. Svenska forskare har också bidragit väsentligt till en ny syn på frågan om livets uppkomst. Kanske har livet uppstått i underjorden? Under de senaste tio åren har det pågått en enorm kunskapsinhämtning om de geokemiska processerna i havsbotten, vilket har resulterat i en markant omsvängning i den allmänna uppfattningen om hur de första livsprocesserna uppstod.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Starka områden tack vare några få personer

Det finns nu, liksom för cirka tio år sedan, ett flertal delområden där svenska forskare ligger i den absoluta internationella forskningsfronten. Den största skillnaden jämfört med tidigare är att basen av skickliga forskare har minskat, troligen på grund av de minskade interna forskningsresurserna inom universitet och högskolor. Till de starka områdena hör:

- Marin systemanalys (stark under mer än tio år)
- Kemisk meteorologi (stark under mer än tio år)
- Polaroceanografi (ökad styrka under de senaste tio åren)
- Koldioxid-transport mellan atmosfär och terrester biosfär (ökad styrka under de senaste tio åren)
- Studier av kolsystemet i limnisk och marin miljö, inkluderande utbytet mellan atmosfär och hav (stark under mer än tio år)
- Studier av löst organiskt kol (DOC), dess dynamik och interaktioner med mikroorganismer samt roll som komplexbindare (ökad styrka under de senaste tio åren)
- Studier av den djupa biosfären (från liten kunskap och verksamhet till internationell framträdande roll under de senaste tio åren)
- Studier av biogeokemiska processer i skogsmark och avrinnande vatten och störningar orsakade av antropogen påverkan (ökad styrka under senaste tio åren)
- Akvatisk geokemi omfattande vittring, transport och deposition av kemiska ämnen i djuphavet (ökad styrka under de senaste tio åren)

Forskning inom området *processer i mark, luft och vatten* har en stor bredd och det är inte möjligt för ett litet land som Sverige att vara stark inom allt. Flera delar är därför svaga i ett internationellt perspektiv. Det gäller till exempel organisk geokemi, biokemisk modellering och pelagisk biogeokemi.

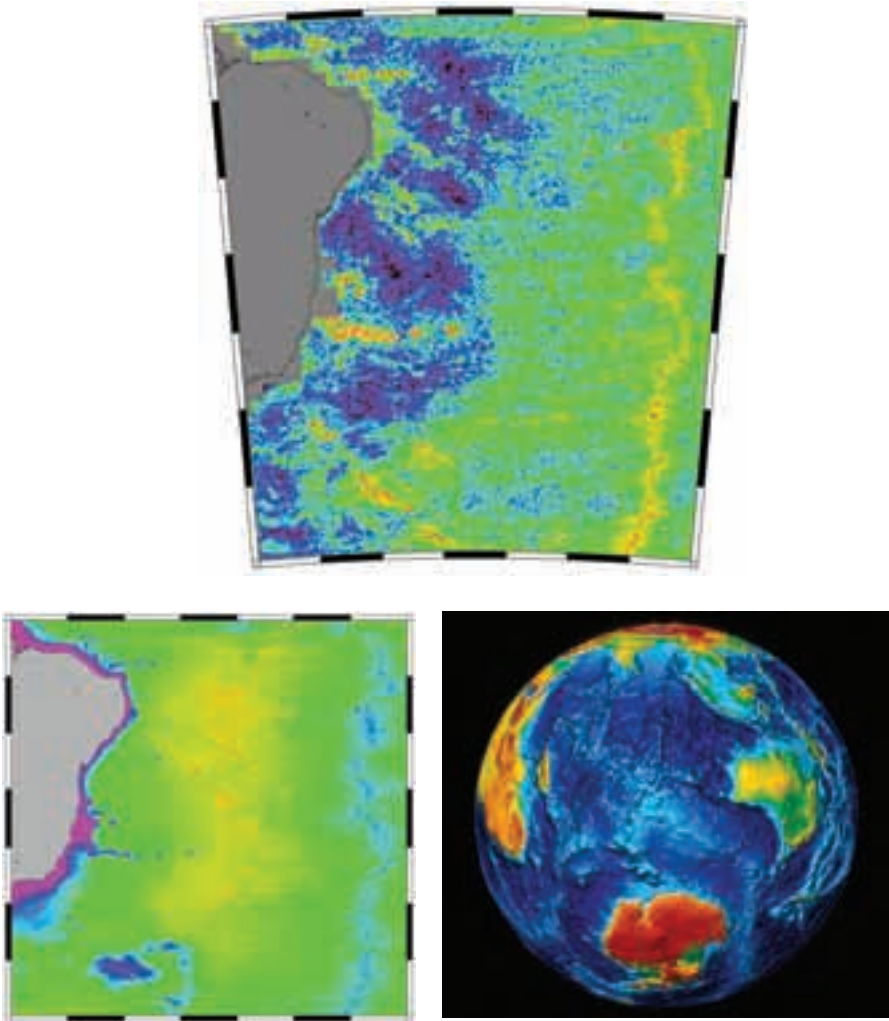
Att vi inte kan vara framträdande i allt får vi acceptera, men den absolut största svagheten och risken med den nuvarande svenska forskningen inom detta område är att de flesta av ovanstående starka områden är resultatet av en eller några få ledande personers insatser. Med denna smala bas är sårbarheten stor och en satsning på att bygga upp större forskargrupperingar inom de starka deldisciplinerna är önskvärd.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Liv i universum – forskning för framtiden

Under den senaste tioårsperioden har det rent allmänt skett en inriktning mot mer systemorienterad forskning. Detta har medfört behov av samarbete mellan ett flertal deldiscipliner, något som har förstärkts genom EU-finansierad forskning. För de kommande åren kan följande tendenser urskiljas.

*Grundläggande processororienterad forskning* inom olika ämnesområden – med betydelse för övergripande frågeställningar inom klimat, miljövetenskap, jordbruks- och skogsskötsel – kommer att spela en viktig roll även i framtiden.



*En av framtidens största utmaningar är att hantera klimatfrågan på ett relevant sätt. Därför behövs en riktad satsning mot klimatforskning.*

Världshavens cirkulation har mycket stor betydelse för jordens energibalans, och därmed för vårt klimat. En mycket aktuell diskussion inom oceanografin är hur djuphavscirkulationen drivs av tidvattnet och bottenpografien. Tidvattnet i kombination med höjdskillnader på havsbotten skapar vågor som går från botten och uppåt. Sådana vertikala vågor tror man kan vara den viktigaste drivkraften bakom havets cirkulation. Den övre bilden visar ett exempel på hur forskare undersöker detta fenomen genom att beräkna vågornas energi i ett område av atlanten utanför Brasilien (grått område till vänster). De högsta värdena (gult och rött) återfinns vid den mittatlantiska ryggen – Atlantens bergskedja. De två andra bilderna visar bottenpografien i samma område respektive världshavens bottenar. Övre respektive vänstra bilden: Jonas Nycander, Högra bilden: ©National Oceanic and Atmospheric Administration

Ett specifikt område som är på stark frammarsch är *gränsöverskridande (biogeokemi – ekologi) studier av organiskt material (DOM) omsättning* i såväl terrestra som akvatiska miljöer, kopplade till globala frågor såsom växthusgaser (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, DMS och halogenerade lättflyktiga organiska ämnen). Utvecklingen av *analystekniker* kommer att medföra att viss forskning tar stora steg framåt. Ett exempel är användandet av stabila metallisotoper som en signatur för biologisk aktivitet, såväl i de geologiska arkiven som i dagens processtudier.

Slutligen, ett område med en stor framtidspotential är *astrobiologi* som handlar om möjliga livsformer i universum.

## STRATEGIER

### Satsa på att förstå klimatet

En av framtidens största utmaningar, såväl för grundforskningen som för samhället, är att hantera klimatfrågan på ett relevant sätt. För att detta ska låta sig göras behövs goda kunskaper inom ett flertal forskningsområden. Till stor del rör det sig då om grundforskningens kunskaper inom Vetenskapsrådets ansvarsområde. En av de största utmaningarna är att förstå klimatsystemet tillräckligt detaljerat för att med någon säkerhet kunna uttala sig om de olika förändringar som sker vid en klimatförändring. Här ges olika exempel på frågeställningar, allt från uppenbara och storskaliga förändringar till detaljerade och långtgående förändringar:

- Hur ändras kolflöden mellan atmosfär och land/hav?
- Hur sker förändringar i havsströmmar?
- Hur sker förändringar av ekosystemet i den terrestra, limniska samt marina miljön och dess påverkan av kolomsättningen?
- Hur förändras nederbörden och vad blir dess påverkan på transporten av ämnen från land till kustzonen och den följd detta kan få på allt från kolflöde till fiskproduktion och turism?

Det behövs även en hel del teknisk forskning för att kunna hantera möjliga effekter av klimatförändringar. Dessa omfattar allt från storskaliga problem, såsom ökade vattenflöden i floder och erosion i kustområdena, till småskaliga frågor kopplade till mätmetoder.

Med tanke på den allt ökande omfattningen av jord- och skogsbruk och de intensifierade skötselmetoderna ökar behovet av kunskaper om biogeokemiska markprocesser och deras interaktioner och inverkan på mark-, grund- och ytvatten. Detta blir särskilt väsentlig kunskap om vi står inför en förändrad klimat-

situation, till exempel förändrad temperaturfördelning över året eller förändrad nederbörd.

## Ödesdigra konsekvenser

Senare års forskning har visat att klimatet i ett längre tidsperspektiv är långt ifrån så stabilt som det har varit under de senaste cirka 500 åren. Förändringar kan komma plötsligt, med ödesdigra konsekvenser, inte minst för Sverige. En ökad kunskap om klimatförändringarna har därför mycket hög prioritet, och även om ämnesrådet är mycket restriktivt med att föreslå nya prioriterade områden bör en riktad satsning mot klimatforskning övervägas.

Det är uppenbart att en speciell satsning på klimatforskning kan bli ganska omfattande. Vetenskapsrådet kan bara stå för en del av kostnaden. En möjlighet är att genomföra denna satsning tillsammans med andra forskningsfinansiärer, i synnerhet FORMAS som har ett särskilt ansvar för detta område. Det vore en fördel att ha en gemensam bedömning vid en sådan gemensam satsning, eftersom gränsen mellan Vetenskapsrådet och FORMAS inte är tydlig. Under senare år har flera ansökningar varit i just detta gränsområde.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Ökat samarbete

Vetenskapsrådet är den helt dominerande finansiären av svensk geovetenskaplig forskning. Forskningen inom det här beskrivna området får mycket lite stöd från andra svenska finansiärer. Vid sidan av Vetenskapsrådet är EU en viktig finansiär. Många svenska grupper har deltagit i EU-projekt, ofta med kopplingar till klimatfrågorna. Trots att många underområden, till exempel meteorologi och oceanografi, är vetenskapligt omfattande är de inga stora utbildningsämnen. Detta faktum resulterar i förhållandevis små fakultetsresurser, och det kan därför vara särskilt svårt att hålla kvar unga forskartalanger i det svenska högskolesystemet.

Inom de så kallade småämnena inom geovetenskap bedrivs forskning i liten omfattning, men med hög vetenskaplig kompetens. För en del av dessa – som finns representerade på flera universitet och högskolor – kan det vara värt att ställa medel till förfogande för uppbyggnad av nationella nätverk. Det är förstås särskilt viktigt för ämnena som ligger farligt nära att försvinna, både vad beträffar forskning och undervisning. För de ämnena som endast finns representerade vid ett eller två universitet eller högskolor bör speciella satsningar göras så att verksamheten kan behålla sin höga kvalitet.

Beredningsgruppen för processer i mark, luft och vatten hanterar många ansökningar som ligger i gränlandet mellan Vetenskapsrådets och FORMAS ansvarsområden. Det finns en risk att mycket bra ansökningar hamnar mellan stolarna. Det borde antingen finnas en tydligare beskrivning av gränserna, eller en mer kopplad hantering av ansökningar som ligger i gränsområdet. Det behövs ett bättre samarbete med FORMAS.

# Ekologi och biologisk mångfald

## BEDÖMNING

- ▶ Regeringens och riksdagens 15 miljömål och det övergripande målet att nå en hållbar utveckling bygger på kunskap om hur de naturliga ekosystemen fungerar. Stödet till grundforskning inom ämnesområdet ekologi och biologisk mångfald är centralt i detta sammanhang.
- ▶ Tack vare satsningen på biologisk mångfald som påbörjades år 2002 finansierar Vetenskapsrådet idag internationellt konkurrenskraftig forskning inom området.
- ▶ Särskilt betydelsefull är satsningen på lovande unga forskare med sikte på att behålla viktig kompetens inom landet. Det är strategiskt viktigt att fullfölja denna satsning under kommande år med rådsforskaranställningar. Någon eller några sådana rådsforskaranställningar bör reserveras för kvinnor.
- ▶ Ett nytt viktigt forskningsområde för ekologin och den biologiska mångfalden är klimatforskning. Inom denna inriktning bör analyseras bland annat arters anpassningar, utbredningar och interaktioner med den biogeokemiska miljön i perspektivet av storskaliga klimatförändringar.
- ▶ För att möta morgondagens krav på kunskap om långsiktiga processer och trender i terrestra och akvatiska ekosystem behövs satsningar på studier utförda på större rums- och tidsskalor än idag. Studierna behöver också kompletteras med avancerad matematisk analys. Vidare behövs studier som kopplar samman organismers interaktioner i näringsväven med ekosystemens biogeokemi.



## Ett land med höga ambitioner

Vi måste ha kunskap om ekologi och biologisk mångfald för att förstå hur naturliga ekosystem är uppbyggda och fungerar. Denna kunskap är också grund för att analysen av hur de miljöförändringar som vi människor orsakar påverkar de naturliga systemen och förloppen. Sverige har nationellt och internationellt mycket höga politiska ambitioner att utveckla ett ekologiskt hållbart samhälle utifrån kunskaper om ekosystemen. För att uppnå detta behövs en bred och stark kunskapsbas uppbyggd kring en modern och relevant grundforskning inom bland annat ekologi och biologisk mångfald. Denna forskning behöver också integreras med annan forskning och i en mångvetenskaplig dimension.

Forskningen inom ekologi och biologisk mångfald sträcker sig från en beskrivning av populationer och arter och deras släktskap till analyser av mekanismer och processer som styr populationers och arters samspel.

Samspelet studeras inom och mellan organisationsnivåer på både kort och lång sikt. Inom forskningen analyseras organismerna i deras biogeokemiska sammanhang.

Den systematiska forskning som Vetenskapsrådet finansierar kartlägger släktskap mellan arter och grupper av arter. Denna forskning domineras idag av molekylärbiologiska och datoriserade metoder för hypotesprövning, så kallad kladistik och parsimonianalys. Detta har skapat en kraftfull ansats på en internationellt hög nivå där metodutveckling och bioinformatik numera är viktiga delar.

## Förstå för att förutsäga

Tidig ekologisk forskning var framförallt beskrivande, men forskarna insåg snart att det inte var tillräckligt för att förstå de mekanismer som förklarar ekologiska skeenden och processer. Och, utan förståelse för mekanismerna går det inte att göra förutsägelser. Den ekologiska forskning som Vetenskapsrådet finansierar idag har experimentell karaktär. Experimenten utförs antingen i laboratoriemiljö eller i naturen för att komma åt mekanismerna. Den experimentella ekologin kompletteras med teoretiska analyser och modellering för att få resultat för längre tider och större områden.

Ekologisk forskning som Vetenskapsrådet stödjer kombinerar ekologiska angreppssätt med molekylärbiologiska metoder. Forskningen omfattar allt från de lägsta till de högsta organisationsnivåerna i ekosystemen. På molekylärgenetisk nivå studeras hur och varför genetisk variation uppkommer, vilka evolutionära processer som styr hur DNA-sekvenser utvecklas och varför vissa gener utvecklas snabbare än andra. Andra exempel på frågeställningar är vilka genetiska

mekanismer som styr växters blomningstid och studier av samspelet mellan mykorrhizasvampar och deras värdväxter. De sista två forskningsområdena är mycket innovativa: de applicerar modern genomforskning på traditionellt växtekologiska och mikrobiologiska frågeställningar.

Evolutionär ekologi i Sverige har fokus på betydelsen av olika kön. Forskarna studerar skillnader mellan honors och hanars evolution, hur sexuellt urval uppkommer och hur hanliga och honliga strategier utvecklas som en följd av ”konflikter” mellan könen. Andra fokusområden är mekanismer för artbildning, fåglars flytt- och navigationsstrategier samt kemisk och optisk kommunikation mellan organismer. Mycket av den svenska evolutionsbiologiska forskningen ligger i den internationella forskningsfronten. Däremot är populationsgenetik och kvantitativ genetik svaga områden i Sverige idag, med endast ett fåtal forskare med gedigna teoretiska kompetenser. Frågor inom denna inriktning är till exempel hur främmande gener som spridit sig in i ett bestånd upptäcks och hur miljö och gener samspekar och påverkar organismers utseende och anpassning.

Inom ekosystemforskningen i Sverige idag finns framför allt inom sötvattens-ekologin en stark kompetens. Det gäller ingående studier av relationerna mellan ekosystemfunktion och mångfald inom ekosystemets olika nivåer.

## Stadig grund

Svensk forskning inom ekologi och biologisk mångfald har en mycket stark ställning i världen, byggd på starka traditioner och på en internationellt sett gedigen universitetsutbildning. Vi har idag ett flertal världsledande svenska ekologer och systematiker, och återväxten av unga forskare är i de flesta fall god. Kopplingen mellan grundforskning och tillämpad forskning är också mycket framgångsrik där oftast samma forskargrupper arbetar inom båda fälten. Det senare har bland annat lett till att flera svenska forskargrupper hävdar sig bra inom den EU-finansierade forskningen. Svensk forskning inom evolutionär ekologi har bidragit med stora grundvetenskapliga genombrott, bland annat inom områdena sexuell selektion, kemisk kommunikation och fåglars navigation.

Svensk forskning inom systematik och fylogeni har bidragit med resultat och metoder som har fått uppmärksamhet internationellt. Även forskningen inom terrester ekologi, rörande växters och svampars interaktioner i marken, har rönt stor internationell uppmärksamhet. Det gäller också forskning som har kartlagt interaktionerna mellan nivåer i ekosystemet.

Regeringens satsning på biologisk mångfald har inneburit en intensifiering av forskningen om faktorer som bestämmer arters utbredning och förmåga att anpassa sig i en föränderlig miljö. I den forskning som Vetenskapsrådet finansierar idag finns stora möjligheter att börja tränga in i hur populationers för-



*Riksdagens mål att nå en hållbar utveckling bygger på kunskap om hur de naturliga ekosystemen fungerar. Stödet till grundforskning inom ämnesområdet ekologi och biologisk mångfald är centralt i detta sammanhang.*

Olika gläntttornsgräshoppor kan ha olika färgteckning trots att de tillhör samma art. Om arter anpassas till sin omgivning via naturligt urval, hur kan då gräshoppor med helt olika färgteckning samexistera på en och samma plats? Kan så kallad färgpolymorfi påverka individernas partnerval och därmed fungera som en "motor" när nya arter bildas? Färgkommunikation har central betydelse för många djur, men ännu saknar forskningen till stor del evolutionära och ekologiska förklaringar till hur färgsignalering och färgseende har utvecklats. Foto: Anders Forsman

måga att anpassa sig – till såväl naturliga förändringar i livsbetingelser som till av människan inducerade förändringar – påverkar den biologiska mångfalden.

För att förstå dessa komplexa interaktioner krävs en god grundforskningsbas om populationers samspel och naturliga egenskaper. Förstärkningen av forskningsfinansieringen har gjort det möjligt att börja bygga upp en sådan kunskapsbas för att i framtiden kunna göra bättre förutsägelser om förändringar i ekosystemens struktur och funktion. På webbplatsen [www.biologiskmangfald.nu](http://www.biologiskmangfald.nu) presenteras den forskning som pågår inom satsningen på biologisk mångfald.

Svensk forskning inom ekologi och biologisk mångfald har betydelsefulla internationella åtaganden inom bland annat GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*), en databas där fakta om världens arter görs tillgänglig i ett gemensamt internationellt initiativ. Det finns flera exempel på systematisk och taxonomisk forskning som berör ett annat land och leds av svenska forskare, till exempel en sammanställning av Ecuadors flora.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Lockar nya forskare och studenter

Ekologi och biologisk mångfald är ämnesområden som attraherar studenter och forskarstuderande. I forskningsfronten finns ett tiotal forskare (de flesta finansierade av Vetenskapsrådet) som är internationellt mycket framstående inom inriktningarna terrester och akvatisk ekologi, evolutionär ekologi samt systematik. Dessa forskare publicerar regelbundet i de främsta biologiska tidskrifterna (till exempel *Ecology*, *Limnology and Oceanography*, *Evolution*, *Cladistics*, *Systematic Biology*) samt i ledande generella tidskrifter (framförallt *PNAS*, *Science* och *Nature*) och de citeras mycket ofta. Ett flertal yngre forskare inom ämnesområdet når i kvalitet lika högt och förväntas inom en snar framtid ha intagit en lika framstående ställning inom sina kompetensområden.

Evolutionär ekologi är idag den internationellt starkaste forskningsgrenen inom svensk ekologi. Styrkan i denna forskning ligger i att kombinera empiriska studier på populationsnivå med molekylära angreppssätt. Terrester ekologi med koppling till den växtekologi som stöttar de areella näringarna jord och skogsbruk har också länge haft en stark ställning i Sverige. Inom denna inriktning skönjer man idag nya trender som gränsar till funktionsgenomik. Akvatisk ekologi har några starka sidor, främst inom forskningen om hur interaktioner mellan trofinivåer skapar dynamik i limniska ekosystem. Inom systematik har svenska forskare varit initiativtagare i utvecklingen av nya klassificeringsmetoder och nya datorbaserade system för släktskapsanalys.

### Fiskens roll

I motsats till den starka limniska ekosystemforskningen är dess marina och terrestra motsvarighet inte särskilt framträdande idag. Det gäller även marin fiskeribiologisk forskning. Speciellt handlar detta om forskning som fokuserar på fiskens roll i ekosystemen. (Forskning där marin fisk eller andra marina organismer används som modellorganismer är däremot framgångsrik internationellt sett.)

Inom den marina ekosystemforskningen som Vetenskapsrådet stödjer finns början till en ny generation unga forskare. De engagerar sig starkt i kopplingen

mellan ekosystemfunktioner och biologisk mångfald i marina miljöer och det är viktigt att dessa forskare får fortsatt stöd att utvecklas. I ljuset av fiskerinäringens internationella kris kommer forskning som ökar förståelsen för fiskens roll i de marina kustekosystemen att efterfrågas av samhället. Vetenskapsrådet stödjer inte någon sådan forskning idag.

Den positiva utvecklingen inom svensk systematik har delvis skett på bekostnad av traditionell och mer beskrivande taxonomi. Kunskapen om enskilda organismgruppers diversitet och morfologiska särdrag beskärs nu allt mer, men samtidigt krävs det grundläggande taxonomiska utredningar för att uppnå målet om en fullständig beskrivning av alla Sveriges flercelliga arter till år 2020. Det saknas idag kompetens för taxonomisk forskning inom många organismgrupper och kommer inom en snar framtid att saknas helt i Sverige. Denna kompetens finns dock i vissa fall i andra europeiska länder och en samverkan mellan länder torde här bli nödvändig.

## Större skala kräver modellering

Inom experimentell ekosystemekologi har småskaliga laboratorie- eller fältförsök hittills i stor utsträckning legat till grund för analyser av ekosystemprocesser. Processerna påverkar i själva verket ekosystemen över betydligt större rums- och tidsskalor än på de vilka experimenten kan göras.

Då denna typ av processer berör de flesta problem som relaterar till antropogena eller naturliga miljöförändringar, till exempel klimatförändringar, är skalan ett viktigt problem att hantera. Det går troligtvis inte att göra bra förutsägelser om processer på dessa nivåer enbart utifrån experiment i labororieskala. Teoretiska analyser, till exempel datorsimulering eller annan typ av modellering, kan kompensera för detta, men då krävs en mer utbredd kompetens i ekologisk modellering än den som är tillgänglig idag. Kompetensen finns i Sverige, men är koncentrerad till ett fåtal institutioner.

För att kunna förstå dynamiken i storskaliga ekosystem krävs också andra angreppssätt. Modellering, tidsserieanalys och experiment på stora rums- och tidsskalor behöver utvecklas för att med betydligt större säkerhet kunna förutsäga till exempel grundämnesbalanser i skogsekosystem och fiskbeståndens inverkan på övriga ekosystemnivåer.

Svensk ekotoxikologisk forskning är relativt svagt utvecklad, speciellt om hur giftiga substanser påverkar evolutionära, populationsekologiska och ekosystemrelaterade processer. Dagens internationella kunskap om modellering bör föras in i den svenska forskningen för att lyfta ekotoxikologisk forskning till en nivå där den blir vetenskapligt konkurrenskraftig.

Även ekologiskt inriktad genetik är svag i Sverige idag. Denna forskning har en stark potential för framtiden med en klar koppling till genomforskning. Sverige har haft starka unga forskare inom detta område som tyvärr har lämnat landet för anställningar i utlandet.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Systematiken i stark utveckling

En generell utvecklingslinje inom ekologi och biologisk mångfald är utnyttjandet av kunskaper och metoder från andra naturvetenskapliga ämnen, vilket har lett till att ämnet idag har en starkt ämnesöverskridande karaktär. Forskning i gränsområdena till fysiologi, genetik, molekylärbiologi, immunologi, fysik, biogeokemi och matematik har varit särskilt fruktbar och svenska forskare har i många fall haft en ledande roll i denna tvärvetenskapliga utveckling.

Funktionsgenomik är troligen den nya inriktning som mest kommer att påverka den evolutionsbiologiska forskningen. Med nya molekylärbiologiska tekniker görs kopplingar mellan variation på DNA/RNA-nivå och de egenskaper som anpassar individer till sin miljö. Genom denna möjlighet ökar förståelsen ytterligare för hur och varför genetisk variation uppkommer och förändras i naturliga system.

Systematik utvecklas starkt med en nästan fullständig övergång till moderna DNA-metoder. Med snabbt ökande mängder av DNA-data kommer bioinformatik att bli ett allt viktigare hjälpmedel för tolkning och analys. Om systematikområdet kan fånga fler nya studenter än idag så kan detta område få en mycket positiv utveckling. Det svenska artprojektet kommer förmodligen att stimulera den systematiska och taxonomiska forskningen.

### Mer generell

Ekologin spänner idag över ett mycket brett område med avseende på organisationsnivåer, från processer på DNA-nivå till processer på ekosystemnivå. Vidare bedrivs mycket av spetsforskningen om interaktioner: dels inom arter (DNA, gen, individ, population), dels mellan arter (individ, population, ekosystem). Det framstår också allt klarare att ekologin utvecklas mot en mer generell vetenskap både vad gäller klarläggande av orsakssammanhang och förutsägelser av förändringar.

Detta gör att behovet av matematisk modellering och dataanalys med moderna biostatistiska metoder har ökat. Situationen att ekologiska system liksom biologiska system i allmänhet präglas av en hög grad av komplexitet och icke-linjäritet förstärker behovet av matematiska redskap. Speciellt kommer det att

bli allt viktigare med modellangreppssätt som tillåter hanterandet av processer på flera organisationsnivåer. Det senare har bland annat blivit möjligt genom utvecklingar inom den tillämpade matematiken och datorområdet. Vi ser därför också en stark utvecklingspotential inom gränsområdet ekologi/tillämpad matematik.

Under de senaste årtiondena har svensk ekologi varit uppdelad i dels forskning om interaktioner mellan organismer, dels om biogeokemiska flöden av element (kol, kväve, fosfor ...). Denna uppdelning är artificiell och begränsande för ekologins utveckling. Organismers evolutionära och ekologiska dynamik påverkas av tillgängligheten av olika element samtidigt som organismer påverkar flöden av dessa element i ekosystemen.

## Kopplingar till flera element

Faktorer som påverkar dessa återkopplingar från organismer inkluderar graden av genetisk variation, artdiversitet och trofisk struktur. De storskaliga klimatrelaterade förändringar vi idag ser i bland annat kolflöden i akvatiska och terrestra system är exempel på starka kopplingar mellan organisminteraktioner och flöden av element. En framgångsrik ekologisk forskning med fokus på att förstå och förutsäga effekten av storskaliga miljöförändringar kommer därför att vara kritiskt beroende av att ekologin lyckas integrera interaktioner mellan organismer med biogeokemiska processer.

Mycken ekologisk forskning idag, speciellt då den inom den experimentella ekologin, utförs på en relativt begränsad tids- och rumsskala. För att kunna studera mer långsiktiga ekologiska och evolutionära processer har mikrokosmosförsök (försök i mycket liten skala och med få parametrar) med organismer med mycket kort generationstid spelat en väsentlig roll. En begränsning i detta angreppssätt berör problemet i vilken grad resultaten från dessa försök kan över sättas till organismer med längre generationstid och till naturliga storskaliga akvatiska och terrestra system.

Detta skalproblem är utan tvivel en utmaning för ekologisk forskning idag och det finns ett starkt behov av studier på en betydligt längre tidsskala (mer än tio år) och större rumslig skala än vad som generellt är fallet idag.

## STRATEGIER

### Nya fält släpper in unga forskare

Regeringens proposition om satsning på forskning för ett ekologiskt uthålligt samhälle pekar på kunskap om arters utbredning, naturliga egenskaper och livsbetingelser som grundläggande bidrag för att förstå förutsättningar för en håll-

bar utveckling. Den satsning som nu skett på grundforskning inom ekologi och biologisk mångfald har lett till en djupare och bredare forskning inom detta område. Detta är helt nödvändigt för att nå den kunskapsplattform som behövs för ett svenskt arbete mot en hållbar utveckling.

Satsningen har öppnat för forskning inom nya viktiga fält där framförallt unga forskare nu profilerar sig. Ett exempel är kopplingen mellan biologisk mångfald och ekosystemfunktioner. Ett annat är kopplingen mellan biologisk mångfald och storskaliga klimatförändringar. Ett tredje är integrering av kunskaper och metoder från genomikforskning i modern ekologi och systematik. Det är ytterst viktigt att vi satsar vidare på området biologisk mångfald som har en mycket positiv utvecklingspotential.

Klimatpåverkan leder till storskaliga miljöförändringar. För att kunna förutse effekterna på arters utbredning och överlevnad behövs forskning som kartlägger arters anpassningar till en varierande miljö. För att vidare förutse effekterna av arters förändrade utbredningsmönster behövs forskning som kopplar betydelsen av biologisk mångfald till ekosystemfunktioner.

## Storskaliga processer i tid och rum

Flera av de processer som studeras inom området ekologi och biologisk mångfald är till sin natur storskaliga i både tid och rum. För att på ett relevant sätt testa hypoteser kring förändringar på stora rums- och tidsskalor krävs omfattande data samt kompetens i matematiska metoder för modellering. Ett starkare samarbete mellan forskande institutioner och de myndigheter som i miljöövervakningssyfte samlar in data är nödvändigt. Det är också viktigt med en diskussion om i vilket syfte data samlas in. Dessutom behövs särskilda insatser för att öka integreringen mellan matematiska modellerare och empiriska ekologer av alla inriktningar.

Vi har fortfarande idag skrämmande lite kunskap om vilka processer som reglerar biologisk mångfald på både ekologisk och evolutionär nivå. Det gäller även det omvända: vilken betydelse den biologiska mångfalden har för hur ekosystemen fungerar och vad de producerar. Denna kunskap är central för att förstå effekterna av människors handlande genom olika typer av miljöförändringar såsom klimatförändring, giftspridning, övergödning av akvatiska miljöer och reglering av bestånd (till exempel jakt, fiske och avverkning). Kunskapen är också central för att förstå hur vi ska bygga ett samhälle med utgångspunkt i ekosystemansatsen och med målet att bli ekologiskt och hållbart. För att lyckas ta fram nödvändig kunskap krävs nya kompetenser och forskningsinriktningar både inomvetenskapligt och mångvetenskapligt. Ett inomvetenskapligt exempel är så kallad adaptiv dynamik, det vill säga organismers anpassningsförmåga, som in-



ternationellt är i fronten av evolutionseko­logisk forskning. Det är också viktigt att ge ett kraftfullt stöd till en fortsatt förnyelse inom den molekylärt inriktade ekologin, samt till utveckling av teoretisk ekologi och ekosystemanalys.

Inför de kommande åren är det viktigt att följa upp Vetenskapsrådets satsning på unga forskare inom ekologi och biologisk mångfald genom forskar­anställningar på högre nivå. Ett ansvar som Vetenskapsrådet och universiteten bör ta tillsammans. Det är också centralt att finansieringsnivån per forskargrupp hålls på en internationellt jämförbar nivå så att inte Sverige tappar mer kompetens till utlandet än vad som redan skett inom ekologi och biologisk mångfald.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Utveckling kräver mer och dyrare utrustning

Modern ekologi och biologisk mångfaldsforskning är i många fall beroende av avancerade molekylärbiologiska metoder som kräver dyra plattformar. En fortsatt effektiv satsning på molekylärbiologisk analysutrustning är vid sidan om bra tillgång till system för att hålla djur och växter i fångenskap (exempelvis klimat­kamarar, växthus, avi­arier, akvarier) en förutsättning för en fortsatt positiv utveckling inom området. Inom vissa projekt krävs tyngre utrustning såsom fartyg och vindtunnlar. För tolkning av de mycket omfattande datamängder som genereras ur framförallt DNA-analyser inom bioinformatiken krävs också kraftfull dator­kapacitet. För att komplettera miljökontrolldata med studier över långa tidsskalor och stora rymdskalor än vad traditionell projektfinansiering tillåter kan övervägas om särskilda medel ska avsättas för långsiktiga och/eller stor­skaliga experiment.

Manliga forskare inom ekologi och biologisk mångfald dominerar klart, speciellt på docent och professorsnivå. Det är viktigt med en insats som ökar möjligheterna för kvinnor att nå professorskompetens inom området. Behovet av fler rådsforskar­anställningar ökar de närmaste åren för att följa upp de senaste årens satsningar på mycket kompetenta unga forskare.

Ett annat strukturellt problem på kortare sikt är att FORMAS och Vetenskapsrådet behöver utveckla rutinerna för hur överlappande forskningsområden inom biologi ska hanteras, bland annat hur parallellansökningar ska behandlas.

# Organismbiologi

## BEDÖMNING

- ▶ Utvecklingen, såväl tekniskt som begreppsmässigt, ger idag hittills oanade möjligheter att analysera grundläggande molekylärbioologiska livsprocesser. Internationellt sker för närvarande en mycket stark satsning inom detta område. Forskningen bedrivs med en helhetssyn, från enskilda molekyler till hela organismer och populationer, för att förstå de grundläggande molekylära processerna.
- ▶ Organismbiologisk forskning ställer allt högre krav på ett mångvetenskapligt angreppssätt, vilket kommer att kräva särskilda organisatoriska och finansiella insatser om svenska forskare ska kunna bedriva forskning på hög internationell nivå.
- ▶ De delar av organismbiologin som behandlar biologiska processer skulle vara hjälpta av en förändrad och mer dynamisk infrastruktur vid svenska lärosäten. Forskare behöver samlas kring frågeställningar snarare än kring en viss typ av organism. De bör arbeta i miljöer som kan täcka hela bredden från molekyl till organism och ekosystem.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Karaktär, överlevnad och reproduktion

Organismbiologin är inriktad på frågeställningar som rör hur de olika delprocesserna i en organism samordnas och bidrar till organismens karaktärer, överlevnadspotential och reproduktionsförmåga. Av intresse är också hur dessa funktioner har uppkommit genom naturlig selektion och hur de bidrar till organismens adaptationsförmåga till nya miljöfaktorer och livshistoria.

Organismbiologer arbetar inom ett brett fält av problem med olika ”upplösningsnivå”. I vissa fall studeras en enskild process, till exempel celledelning i mikroorganismer, medan andra frågeställningar kan röra naturliga urvalsmekanismer i en stor population av djur eller växter. Organismbiologin är därför indelad i en mängd delområden som till exempel sinnesbiologi, neurobiologi, immunologi, respirationsbiologi, utvecklingsbiologi, aspekter på fotosyntes, stress-resistens, symbios i växter, samt bakteriers överlevnadsstrategier, förökning, genkontroll och samverkan med andra organismer.

Dessa delområden kan även indelas i fysiologiska, morfologiska, genetiska och molekylärbiologiska underområden beroende på frågeställningens karaktär. Systembiologin där en organisms karaktärer, svar på yttre faktorer samt beteende behandlas med matematisk modellering ingår som ett relativt nytt delområde inom organismbiologin.

## Så lika, men ändå inte

Organismbiologer arbetar med en mångfald metoder som sträcker sig från biokemi, molekylärbiologi, genetik, genomik, morfologisk karaktärisering och cellbiologi till fysiologi. Forskningen om de biokemiska/molekylärbiologiska processerna utgår från en förståelse för hela organismen. Den jämförande organismbiologin kan, med de storskaliga genomprojekten, närma sig intressanta evolutionära frågor. Det handlar exempelvis om hur genetiskt och molekylärt nästan identiska system kan ge upphov till utveckling av så olika organismer som en jästsvamp, en fluga och en ek.

En annan viktig komponent inom organismbiologin är funktionsgenomiska metoder, såsom proteomik och storskalig transkriptionsanalys. Dessa metoder används bland annat för att få en övergripande helhetsbild av hur en organism ändrar sitt uttryck av gener eller produktion av proteiner under anpassning till nya yttre faktorer eller under olika delar av sin utveckling.

Svenska forskare har gjort betydande insatser inom flera av organismbiologins delområden. Sverige har en lång och gedigen tradition i morfologisk och systematisk karaktärisering av organismer och denna disciplin har tagit ett nytt betydelsefullt steg in i den så kallade post-genomiska eran. Den zoologiska sinnesbiologin och neurobiologin har gjort betydande framsteg i Sverige. Inom mikrobiologin har Sverige en stark och betydande internationell ställning när det gäller funktionella studier av bakterier och jästsvampar som modellorganismer. Inom mikrobiologin har Sverige också gjort framstående insatser inom delområdet som behandlar bakteriers patogenes och infektion av värdorganismer.

## Hög kvalitet i liten omfattning

Sverige är långt ifrån en toppnation om man beaktar hela organismbiologin, men vissa delområden är som nämnts ovan mycket framstående. Organismbiologi som rör sinnesbiologi/neurobiologi samt mikrobiella modellsystem, jäst och bakterier har en stark förankring både kvalitativt och kvantitativt. Interaktionsstudier av patogena bakterier och värdorganismer är internationellt framstående. Evolutionär organismbiologi samt vissa delar av utvecklingsbiologi i både växt- och djursystem är kvalitativt starka. Jämförande genomik, bioinformatik och genomisk evolutionsanalys är kvalitativt starka på vissa lärosäten, men volymmässigt liten.

Sverige har också en relativt stark forskningsprofil på vissa genetiskt användbara modellorganismer, som till exempel backtrav och poppel inom växtbiologin, bananfluga (fast med liten omfattning internationellt sett) och mus inom zoologi/medicin samt jäst och kolibakterien inom mikrobiologin. Forskning på rundmasken *C. elegans* som modellsystem är kvalitativt bra, men volymmässigt mycket liten i ett internationellt perspektiv. Systembiologi, gränsområdet mellan organismfysiologi och matematisk modellering, är kvalitativt stark på enstaka håll, men även den är liten till volymen.

Till svagheter hör att delar av svensk organismfysiologi inte har lyckats inkorporera moderna analysmetoder och genomiska/molekylära perspektiv där det uppenbarligen hade stärkt forskningen. Åldrandets fysiologi och evolution, ett forskningsområde med olika organismsystem, är internationellt mycket stort, men nästan obefintligt i Sverige. Organismcytologi, hur celler och vävnader samarbetar och kommunicerar, är ett område på internationell frammarsch med utvecklingen av ny så kallad Imaging-teknik som kan användas både på cellnivå och på helorganismnivå, till exempel fluga, mask och mus. Detta område har bara delvis fått fotfäste i Sverige.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Människan och jästsvampen – mer lika än man kunde tro

Organismbiologin har moderniserats och utvecklats positivt med de stora genomprojekten och den mängd data som nu kan analyseras. Utav detta kan framför allt jämförande organismbiologi nämnas. Området har blivit en intressant disciplin med klara möjligheter att fördjupa vår kunskap om evolutionära processer.



*Forskningen inom organismbiologi bedrivs med en helhetssyn, från enskilda molekyler till hela organismer och populationer, för att förstå de grundläggande molekylära processerna.*

Varför vissnar inte barren på vintern och trillar av som löven gör? Och varför är barren gröna hela vintern? På vintern upphör barrrens fotosyntes, d.v.s. förmågan att omvandla solljus till kemiskt bunden energi som används till att bygga organiskt material. Mycket av barrrens gröna klorofyll bryts ned på vintern. Att detta inte innebär att barren vissnar som löven gör sammanhänger med att barrträden på norra halvklotet har utvecklat en förmåga att på ett kontrollerat sätt alstra och lagra värme av solens ljus. Förutom att denna värme skyddar barrrens struktur från att brytas ned trots upprepade växlingar mellan tö och frost, påverkas också det globala klimatet när barrskogarnas värme avges. Foto: Lars Jonasson – Windh

Den jämförande organismbiologin har även påvisat att genetiska determinanter för exempelvis en organisms utveckling och åldrande kan vara nästan identiska i vitt skilda organismer. Ett exempel är att mängden av en specifik insulinreceptor har visat sig styra åldringsprocessen i mask, bananfluga och mus. Ett annat exempel är att vissa gener som orsakar för tidigt åldrande i människa har samma effekt i jästsvampar. De potentiella möjligheterna inom dessa områden är hisnande. Systembiologi är ett ytterligare viktigt och nytt delområde inom organismbiologin där matematisk modellering ingår som en viktig del i att beskriva och förutspå en organisms beteende och funktioner.

## STRATEGIER

### Mer resurser till molekylära livsprocesser

Den satsning som har gjorts genom extra anslag till biovetenskap och bioteknik har varit mycket värdefull. Det är av största betydelse att denna satsning fortsätter i det nuvarande expansiva läget där man internationellt gör stora satsningar. Om Sverige ska kunna driva forskning inom detta område på en hög internationell nivå krävs dessutom ytterligare resurser. Därför är en satsning på det ännu bredare ämnesområdet molekylära livsprocesser nödvändig. En sådan bred satsning omfattar många olika forskningsområden, organismbiologi, cell- och molekylärbiologi, biokemi och bioteknik, och ger Vetenskapsrådet en möjlighet att i sitt beredningsarbete finna de vetenskapligt absolut bästa projekten.

Data från genomprojekten, funktionsgenomiken och de molekylärbiologiska analyserna börjar bli så omfattande att en systematisk analys och modellbildning krävs med hjälp av ett mångvetenskapligt grepp där matematiker, termodynamiker och fysiker tas med i projekten. Detta kan bli mycket svårt initialt, men det är nödvändigt. Den nya cytologin och Bio Imaging-metoderna kommer att få en allt större genomslagskraft inom cell- och molekylärbiologin och även inom organismbiologin eftersom vissa modellsystem nu kan analyseras på organismnivå. Även här kommer det att krävas en tvärvetenskaplig ansats då många Imaging-metoder kräver specialkonstruerade lasrar och optiska lösningar som ligger utanför den klassiska biologens kompetens.

En betydande del av den framtida organismbiologin kommer alltså att i större utsträckning behöva angripa sina problem på ett mångvetenskapligt sätt och samarbeta mellan olika discipliner. Sverige har goda förutsättningar forskarmässigt att lyckas med en dylik ansats, men den traditionella ämnesindelningen på våra universitet kan initialt sätta käppar i hjulen (se nedan).

I övrigt skulle vissa delområden inom organismbiologin stärkas av en viss omgruppering inom universiteten. Det gäller särskilt de områden som behand-

lar frågeställningar av till exempel typen: Hur och varför svarar en organism mot stress på ett visst sätt? Hur regleras celldelning? Vad styr en organisms åldrande? Vilka faktorer styr utveckling och differentiering? Organismbiologer som behandlar dessa typer av processinriktade frågor skulle gynnas av att samexistera med forskare med samma typ av frågeställning, men med andra organismer som modellsystem. Dessa organismbiologer har inte varit speciellt behjälpta av den traditionella indelningen av ämnen vid våra lärosätens institutioner. Därför efterlyses en ökad flexibilitet.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Professorerna går i pension

Organismbiologin, liksom cell- och molekylärbiologin, expanderade kraftigt under 80- och 90-talet. Detta har lett till att en stor del av de nuvarande professorerna kommer att gå i pension inom de närmaste tio åren. Inför denna generationsväxling behövs fler rådsforskartjänster då den nuvarande bristen på mellantjänster vid universiteten medför att många kompetenta yngre forskare lämnar den akademiska banan.

# Cell- och molekylärbiologi

## BEDÖMNING

- ▶ Utvecklingen, såväl tekniskt som konceptuellt, ger idag hittills oanade möjligheter att analysera grundläggande biologiska livsprocesser på cellulär nivå. Internationellt sker därför nu en mycket stark satsning inom cell- och molekylärbiologi. I denna utveckling bedrivs forskningen med en helhetssyn, från enskilda molekyler till enskilda celler och hela organismer för att förstå grundläggande molekylära livsprocesser.
- ▶ Framgångsrika forskningsprojekt inom cell- och molekylärbiologi måste i allt högre utsträckning integrera olika angreppssätt, olika modellorganismer och olika ämnesområden. För att bedriva forskningen på en internationellt konkurrenskraftigt nivå krävs därför betydligt större projektbidrag.
- ▶ En satsning på postdoktorer i svenska forskargrupper samt på mellantjänster inom området är viktig för att förstärka forskningsgrupperna och för att förnya och utveckla forskningsområdet.
- ▶ Forskning kring molekylära livsprocesser, inklusive cell- och molekylärbiologi, är grundläggande inom naturvetenskapen. Den riktade satsningen på biovetenskap och bioteknik samt i viss mån biologisk mångfald (biologisk mångfald måste förstås i ett brett perspektiv inkluderande molekylära livsprocesser) har bidragit med nära en tredjedel av finansieringen av grundforskningen inom cell- och molekylärbiologi idag. Det är nödvändigt att dessa resurser blir kvar inom ämnesområdet.



## RNA-forskningen tar jättekliv

Cell- och molekylärbiologi har de senaste decennierna intagit en alltmer framskjutna position inom biologisk forskning. Det gäller såväl på djur- som på växtsidan. Utvecklingen styrs av de tekniska framstegen inom en rad områden; framsteg som i allt högre grad tillåter exakta molekylära studier av främst DNA, RNA och proteiner. Det har till exempel lett till att ett antal eukaryota genom (jäst, bananfluga, malariamygga, en nematod, backtrav, poppel, mus och människa) är helt kända i detalj så att en sammanställning av vilka proteiner som totalt sett bygger upp våra celler kan upprättas.

Många tidigare okända RNA-molekyler med helt nya funktioner har även identifierats och fortsätter att identifieras. Utvecklingen inom RNA-området är för närvarande remarkabel och bidrar till en delvis ny syn på flera viktiga cellulära processer. Därutöver har man identifierat tidigare okända mekanismer i cellerna som inbegriper RNA och som antagligen har utvecklats tidigt under evolutionen och som delvis kan ha att göra med försvar mot vissa virus. Dessa mekanismer tillåter att forskarna experimentellt (via RNAi) kan stoppa produktionen av specifika proteiner, ett viktigt redskap för att studera geners funktion.

### Oöverträffad bild

Med hjälp av dagens teknik kan proteiners sammansättning i olika funktionella delar av celler bestämmas, till exempel i specifika delar av cellkärnan dit olika processer är knutna eller i olika molekylära syntesmaskiner.

Strukturbiologin har även utvecklats så att det funktionella tredimensionella utseendet hos enskilda proteiner, hos komplex mellan olika proteiner samt hos komplex mellan proteiner och nukleinsyror går att studera till och med i den intakta cellen. All denna teknik innebär att vi nu får en hittills oöverträffad bild av hur celler är uppbyggda och vilka komponenter som ombesörjer cellens olika livsprocesser. Det är värt att understryka att dessa processer är universella, det vill säga gäller för alla eukaryota celler, alltså även människans celler. Vid många sjukdomstillstånd är just dessa grundläggande cellulära processer störda. Av denna anledning är grundforskning inom cell- och molekylärbiologi relevant och viktig även för biotekniken och för förståelsen av de molekylära mekanismerna bakom olika sjukdomstillstånd och läkemedelsutveckling.

I ett internationellt perspektiv är utvecklingen inom cell- och molekylärbiologin för närvarande oerhört stark. Forskningen fokuserar på centrala biologiska processer i våra celler. De tekniska framstegen utnyttjas i hela sin bredd, samtidigt som de bäst lämpade organismerna studeras, det vill säga de organis-

mer där genomet är känt och/eller där en bred kunskap redan finns och särskilda förhållanden ger experimentella fördelar. Ofta kombineras dessutom studierna i flera olika organismer vilket ger ökad styrka.

I Sverige finns en tradition att framgångsrikt studera centrala biologiska problem i modellorganismer. Exempel på områden där Sverige har gjort betydande insatser är reglering av genexpression, syntes av DNA/RNA-prekursorer, cellåldrande, RNA-biologi, immunsvaret i insekter, signaltransduktion och analys av proteiners struktur och funktion.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Färre publiceringar trots hög klass

Många svenska forskare inom cell- och molekylärbiologi håller mycket hög internationell klass. Det finns emellertid oroande tecken som tyder på att utvecklingen är negativ i Sverige. Svenska artiklar i de yppersta tidskrifterna blir till exempel färre. Detta beror med stor sannolikhet på att projektbidragen är alltför små i ett internationellt perspektiv.

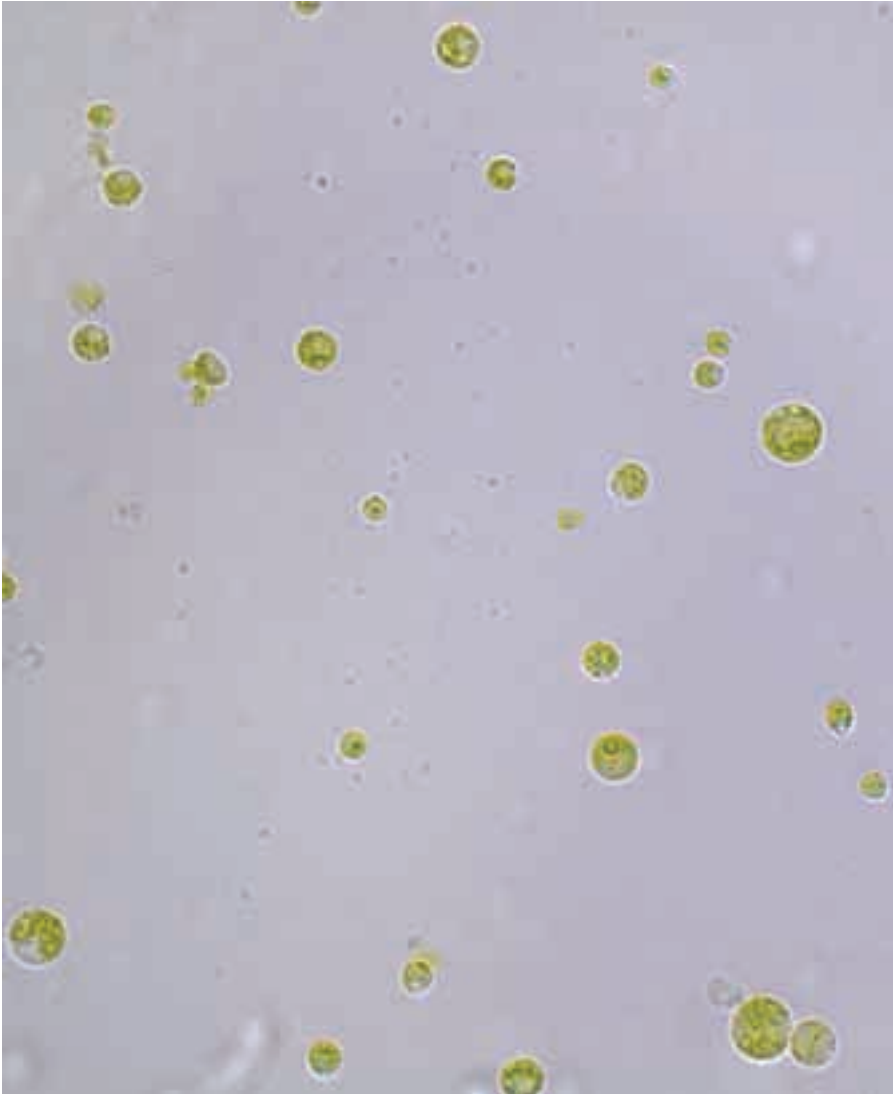
Ett högklassigt forskningsprojekt måste idag hålla bredd och djup, med många tekniker samtidigt inom forskargruppen. Det kräver en kritisk massa av medarbetare i forskargruppen samt omfattande resurser för biologiskt material och relativt dyra reagenser. Bidragen är för små för att klara dessa krav på resultat som behövs för forskning på hög internationell nivå. Därmed sjunker kvaliteten på forskningen och de svenska forskarna får svårare att konkurrera med sina kollegor i högsta divisionen. Detta blir särskilt tydligt när många länder samtidigt ökar satsningarna inom detta forskningsområde.

Andra tecken på en negativ utveckling är att svenska yngre forskare klarar sig relativt sett dåligt vid en jämförelse med kollegor från andra länder vid tillsättning av postdoktorstipendier eller ”Young Investigator Awards” från EMBO. Yngre svenska forskare publicerar i tidskrifter med lägre citeringsfrekvens, antagligen en följd av den lägre resursnivå på vilken forskningen bedrivs i Sverige.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Allt fler studier av funktion

Utvecklingen av genomprojekten och kartläggningen av vilka gener som genomen innehåller, liksom vilka proteiner som syntetiseras i cellerna, kommer att gå mot studier av vilka funktioner som generna och deras motsvarande proteiner har i intakta celler och organismer. Detta innebär att forskningen går mot studier av funktion, vilket i stor utsträckning är liktydigt med molekylär cellbiologi eller cellfysiologi.



*Dagens konceptuella och tekniska utveckling ger hittills oanade möjligheter att analysera grundläggande biologiska livsprocesser på cellulär nivå.*

För att en cell ska fungera som den ska, behöver den metaller. Metall binder till och aktiverar viktiga proteiner i cellen och det är därför nödvändigt att cellen har en lagom mängd metall, vanligtvis järn, att tillgå – inte för mycket och inte för lite. För att inte cellens funktion ska riskeras på grund av variationer i tillgången till järn har cellen regleringsmekanismer som ökar upptaget av metall vid underskott eller bildar fler s.k. metalltransportörer vid överskott. Hur dessa mekanismer fungerar i djurceller känner man till. Däremot är det okänt hur växtcellerna reglerar detta. Bilden visar encelliga grönalger som används för att närmare undersöka denna för cellerna grundläggande process. Foto: Mats Eriksson

Utöver den beskrivna tekniska utvecklingen tillkommer andra relativt snabba framsteg som möjliggör allt bättre studier av enskilda proteiner, gener och cellulära processer i den levande cellen. Denna utveckling sker därför att flera olika så kallade modellorganismer kan studeras med tekniker som mer och mer tillåter att man tillför, förändrar eller tar bort specifika cellkomponenter för att svara på viktiga funktionella frågor.

Vidare utvecklas metoder för att studera strukturen av cellulära komponenter uppbyggda av många olika molekyler och molekylära maskiner i intakta celler. Metoder utvecklas också för studier av hur enskilda cellkomponenter eller enskilda proteiner fungerar i levande celler, till exempel hur de dynamiskt rör sig, tar emot externa signaler och med vilka andra komponenter i cellen de samarbetar för att utföra sina funktioner. Med all sannolikhet kommer denna utveckling att fortgå i snabb takt och mer och mer forskning kommer att fokuseras på förståelsen av hur cellers livsprocesser fungerar på molekylär nivå i den levande cellen och hur detta relaterar till hela organismen, till exempel en mus eller en människa.

Denna utveckling och detta forskningsmål kommer även med stor sannolikhet att inbegripa andra ämnesområden såsom biokemi, biofysik och delvis bioteknik. Inom dessa områden kommer studier av enskilda proteiner eller andra molekyler, deras egenskaper och funktion att behöva förstås i ett cellulärt perspektiv.

Det ska betonas att utvecklingen inom området går mot att framgångsrika forskningsprojekt måste integrera olika angreppssätt, olika modellorganismer och olika ämnesområden för att studera cellulära processer i normala celler eller i speciella situationer. I framtiden kommer genetiska screeningsförsök i organismer såsom jäst, bananflugor, backtrav eller nematod att vara ytterst viktiga strategier för kartläggning av olika molekylära samband och funktioner i enskilda celler och i hela organismer. Samtidigt krävs att sådana studier kombineras med immunologiska, biokemiska, cellbiologiska och molekylärbiologiska analyser.

## STRATEGIER

### Bredd nödvändig

Historien har åtskilliga gånger visat att det inte går att förutsäga var de vetenskapliga genombrotten görs, varför ämnesmässigt begränsade satsningar inte bör göras. En strategisk indelning av forskningen i smala ämnesområden är enbart av ondo och stör den vetenskapligt baserade bedömningen av ansökningar. Det är viktigt att slå vakt om en korrekt utförd *peer review*-process och lita på kraften i denna. Ingen annan princip finns för bidragsfördelning som

kontinuerligt vaskar fram de vetenskapligt bästa projekten och som därmed på det mest effektiva sättet för forskningen framåt.

Det är dock klart att medel måste kunna ges i olika omfattning till olika, breda ämnesområden. Satsningen på biovetenskap och bioteknik är ett sådant exempel, där forskare inom många olika ämnesområden (beredningsgrupper) har kunnat konkurrera. Den internationellt synnerligen starka utvecklingen inom cell- och molekylärbiologi motiverar att detta område bör få en särskild del av eventuella nya resurser till livsvetenskaperna. För att kunna följa med den internationella utvecklingen måste resurserna bibehållas och dessutom avsevärt ökas inom det bredare området molekylära livsprocesser, vilket omfattar studier från molekyler, via celler, till organismer och populationer.

Strukturella satsningar på doktorander och postdoktorer till forskargrupperna vore värdefullt. Behovet av utrustning bör också uppmärksammas. En viktig satsning är att ge fler möjligheten att kunna fortsätta sin forskning efter forskarassistenttiden. Avsaknaden av anställningar för forskare efter forskarassistenttiden är besvärande inom cell- och molekylärbiologi och medför att bra forskare förloras. Signalen till unga människor blir då att de inte bör satsa på en forskarkarriär, eftersom de sannolikt blir utan arbete i 35–40-årsåldern. Satsningen kan göras genom en utökning av antalet rådsforskaranställningar, där behovet är stort inom studier av de molekylära livsprocesserna. Den rådsforskaranställning i cell- och molekylärbiologi som tillsattes 2003 lockade 59 sökande, varav den absoluta majoriteten var mycket kompetenta. En utökning av antalet rådsforskare med sexårsförordnande motiveras också av den förväntade generationsväxlingen inom de kommande tio åren.

Satsningar på nätverk och centrumbildningar rekommenderas inte. Starka forskarmiljöer uppstår när duktiga forskare, var och en med ett eget väl tilltaget projektbidrag, själva väljer att arbeta på samma ställe. Universiteten har en viktig uppgift i att bidra till att sådana forskare erbjuds en bra infrastruktur. Samverkan, nätverk och centrumbildningar ska således uppnås genom en *bottom-up*-process och inte tvärtom.

#### SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

## Fortsätt satsningen på biovetenskap och bioteknik

Projektbidragens storlek i förhållande till de i andra länder borde belysas. De uppgifter som finns från USA, England, Tyskland, Österrike och Schweiz visar att bidragen från Vetenskapsrådet är alltför små inom detta område. Dessutom bör Vetenskapsrådet göra en beräkning av vad som är effektiva nivåer för pro-

jektbidrag till en forskargrupp. Inom cell- och molekylärbiologi ligger detta sannolikt i storleksordningen tre till fem miljoner kronor för en forskargrupp omfattande fem eller sex personer.

Vidare bör konstateras att de satsningar som har gjorts inom biovetenskap och bioteknik de senaste två åren, samt i viss mån inom biologisk mångfald, har betytt en förstärkning. Faktum är att dessa medel utgör en avsevärd och viktig del av de bidrag som gått till forskare inom cell- och molekylärbiologi. Dessa medel utgör nära en tredjedel av det utdelade beloppet till dessa forskare och utan dessa medel hade situationen varit helt katastrofal. Det vore därför mycket skadligt om dessa medel inte får ligga kvar inom området cell- och molekylärbiologi.

Vad som krävs är ytterligare medel till ämnesområdet, utöver vad som nu går dit. De alltför små projektbidragen tillåter inte forskning på internationell toppnivå. Det gäller både för etablerade forskare och för unga forskare. Det är svårt att ekonomiskt klara organiserandet av effektiva (=tillräckligt stora) forskargrupper, inklusive doktorander och postdoktorer i gruppen. Universitetens dåliga ekonomiska förmåga att upprätthålla bra infrastrukturer och skapa goda forskningsmiljöer (apparaturl, personal som sköter avancerad apparatur, olika slags service, till exempel administrativ och teknisk, som frigör tid för forskning) är också ett problem. Universitetens dåliga ekonomi medför också en ökad risk för att forskarnas projektbidrag får bekosta olika slags generella kostnader på universitetet och institutionerna utöver projektens indirekta kostnader.

Sverige är medlem i två mellanstatliga organisationer EMBC (*European Molecular Biology Conference*) och EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*). Bådas syfte är att stärka och stödja europeisk molekylärbiologisk forskning. EMBC:s program omfattar stipendie- och kursverksamhet. EMBL består av laboratoriet i Heidelberg och dessutom av fyra filialer. De finns i Hamburg, Grenoble, Hinxton och Monterotondo.

Acceleratorerna i Grenoble och framförallt Hamburg fyller en viktig funktion för svenska strukturbiologer. EBI i Hinxton är ovärderlig som databas för sekvensanalyser av alla slag. Monterotondo outstation har ett transgent musprogram som idag inte utnyttjas av svenska forskare. EMBL har ett eget doktorandprogram och de tar emot examensarbetare från medlemsländerna.

Det finns önskemål om ökade medlemsavgifter för att täcka ökade omkostnader samt önskemål om förstärkningar, vilket ämnesrådet har svårt att acceptera inom nuvarande budgetramar. Eftersom EMBC:s och EMBL:s verksamheter inte bara berör ämnesrådet för naturvetenskap och teknikvetenskap utan även medicin, bör det diskuteras var kostnaderna för dessa internationella organisationer och anläggningar ska ligga eller hur de eventuellt kan fördelas mellan Vetenskapsrådet och Vetenskapsrådets ämnesråd.

# Biokemi och biofysik

## BEDÖMNING

- ▶ Stora framsteg inom biologin på molekylär nivå och tillgången på DNA-sekvensinformation för hela genom ger oss i dag hittills oanade möjligheter att analysera grundläggande biologiska livsprocesser med biokemiska och biofysikaliska metoder. I den nuvarande utvecklingsfasen kommer forskningen att bedrivas utifrån en helhetssyn, från enskilda molekyler till celler och hela organismer, vilket innebär en ny och mer grundläggande förståelse av de molekylära livsprocesserna.
- ▶ Framgångsrika forskningsprojekt inom biokemi och biofysik måste i allt högre utsträckning integrera olika angreppssätt och metoder och det finns ett stort överlapp med de bioteknologiska, molekylärbiologiska och organismbiologiska ämnesområdena, men också till de kemiska. För att bedriva forskningen på en internationell konkurrenskraftig nivå krävs därför betydligt större projektbidrag än de som givits de senaste åren.
- ▶ En satsning på forskarutbildning i form av doktorandtjänster, men också på mellantjänster inom området, är viktigt för att förstärka forskningsgrupperna och för att förnya och utveckla forskningsområdet.
- ▶ Forskning kring molekylära livsprocesser, inklusive biokemi och biofysik, är grundläggande inom naturvetenskapen. Den riktade satsningen på biovetenskap och bioteknik samt i viss mån biologisk mångfald (biologisk mångfald sett i ett brett perspektiv inkluderande molekylära livsprocesser) har bidragit med en stor del av finansieringen av grundforskningen inom biokemi och biofysik. Det är nödvändigt att dessa resurser blir kvar inom ämnesområdet.

- Den kompetens i form av personal och projekt som har byggts upp vid ett antal resurscentra inom proteomik och genomik (finansierade av Wallenbergstiftelsen och SSF) kan komma att stå utan finansiering inom en nära framtid. Det är av stor vikt för ämnesområdet att det finns en beredskap att tillvarata dessa personer och projekt inom Vetenskapsrådet.

## ÄMNESBESKRIVNING

# I början av en molekylärbiologisk revolution

Biokemin och biofysiken är de områden av naturvetenskapen som studerar biomolekylernas struktur, funktion, interaktioner och reglermekanismer. Teknikutvecklingen inom områdena har varit dramatisk under många år och någon avmattning vad gäller nya möjligheter att separera, identifiera, kvantifiera och studera biomolekyler finns inte i sikte. De molekylärgenetiska landvinningarna, som har manifesterats i ett stort antal fullständigt sekvensbestämda genom, innebär att vi nu befinner oss i ett paradigmskifte för möjligheterna att studera, förstå och förändra naturen. Vi är dock inte i slutet, utan i början av den molekylärbiologiska revolutionen; många av de förestående stora utmaningarna ligger inom biokemins och biofysikens områden.

Det står i dag klart att antalet gener inte är direkt korrelerat till antalet biologiskt aktiva genprodukter. Det mänskliga genomet kodar för cirka 30 000 olika gener. Antalet genprodukter, det vill säga RNA och protein, är dock flerfaldigt större beroende på omfattande processande av många genprodukter. Detta innebär att genprodukterna kommer att ha flera olika funktioner, trots att de utgår från samma genetiska information.

## En tredjedel okänd

Det forskningsområde som studerar samtliga genprodukter och deras funktion kallas funktionsgenomik och det är utan tvekan ett av de mest centrala forskningsområdena idag och under en överblickbar framtid. Funktionsgenomiken är till största delen proteinernas och RNA-molekylernas biokemi och biofysik. Det är genom biotekniska framsteg som verktygen för funktionsgenomiken tas fram, men förståelsen av området kräver grundläggande biokemiska kunskaper. Mer



än en tredjedel av de mänskliga genernas funktion är okänd och det är i stort sett också fallet för de enklaste bakteriernas genom.

Molekylärgenetikerna, biokemisterna och biofysikerna har en stor och viktig uppgift i att klarlägga dessa okända proteiners funktioner med hjälp av hypotesstyrd funktionsgenomik. Detta kommer att kräva utveckling av nya experimentella tekniker, särskilt inom proteomik och bioinformatik, vilket förutsätter tillgång till välutbildade och kreativa yngre forskare med erfarenhet av egen grundforskning. Tillgången på sådana personer kommer att vara den mest begränsande faktorn i möjligheterna att utnyttja de biomolekylära framstegen till gagn för samhällsutvecklingen i Sverige.

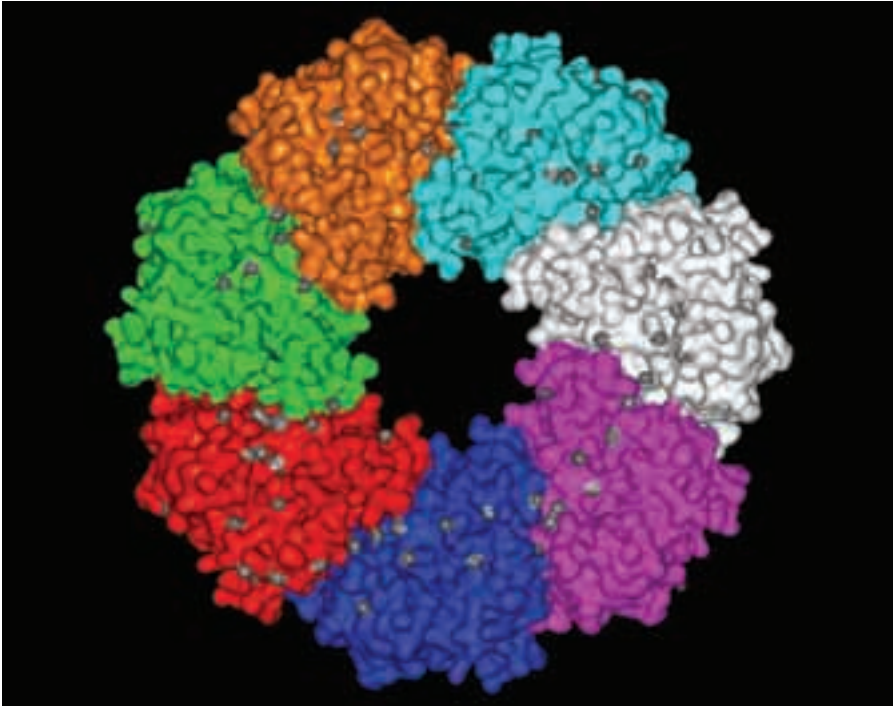
MAX-laboratoriet i Lund är av stor betydelse för området. Vidare finns ett antal teknikplattformar, bland annat inom genomik- och proteomik-områdena, som har finansierats av Wallenbergsstiftelsen och SSF och som nu är mycket viktiga resurscentra vid flera universitet. Tillgången till sådana resurscentra är av stor vikt för ämnesområdet och det bör därför tas fram planer för hur projekt och personal från dessa plattformar ska kunna få fortsatt långsiktig finansiering (efter sedvanlig kvalitetsutvärdering).

Svensk grundforskning inom proteinbiokemi och genteknik har fram till idag lett till väletablerade metoder för att studera proteininteraktioner (exempelvis Biacore-tekniken) samt DNA-sekvenseringsmetoder (Pyrosequencing). Strukturbestämning av stora RNA-molekyler med selektiva isotopinmärknings-tekniker gjorda av svenska forskare har givit information om samband mellan struktur och funktion för ribozymmer och RNA-bindande proteiner. Ett genombrott har under de senaste åren gällt studier av komplexa förlopps strukturer och funktioner, exempelvis regleringen av hur proteiner tillverkas (proteinsyntesen) och hur avslutningen av tillverkningen fungerar (termineringsprocessen) på ribosomerna. För dessa resultat har kinetiska, biokemiska och elektronmikroskopiska metoder använts.

## Nyckelproteiner bestämda i Sverige

Svenska forskare har behållit en ledande ställning i arbetet med grundläggande metoder för bestämning av proteinstruktur och inom området ultrasnabb spektroskopi. Detta har resulterat i att strukturen och funktionerna för ett stort antal viktiga nyckelproteiner har bestämts i Sverige under senaste tioårsperioden. Det gäller bland annat membranproteiner involverade i energimetabolismen och fotosyntesen.

Tidigare stark enzym- och proteinforskning har lett till stora framsteg inom området proteinrelaterad ingenjörskonst samt inom metabolisk reglering av komplexa biokemiska processer, till exempel inom glykobiokemi, membranbiokemi,



*Stora framsteg inom biologin på molekylär nivå ger oss idag hittills oanade möjligheter att analysera grundläggande biologiska livsprocesser.*

I en cell ansvarar proteiner för att cellens olika funktioner blir utförda. Ett protein är en lång tråd ihopsatt av olika aminosyror. Det är inte ordningsföljden hos aminosyrorna som avgör proteinets biologiska funktion, utan hur tråden veckas ihop till en tredimensionell struktur. En felaktig veckning kan leda till sjukdomar, t.ex. galna kosjukan. Forskning om hur veckningen går till ger möjlighet att förutsäga proteinets funktion, men också kunskap att tillverka proteiner med nya egenskaper. Cellen använder ringformade proteiner, s.k. chaperoner (bilden) för att förhindra att felveckning uppstår. I ett av många projekt inom biokemi och biofysik tar man reda på hur det går till när proteiner skyddas i en kanal i chaperonernas mitt. Bild: Per Hammarström

celltillväxtkontroll och toxikologi. I flera fall finns också en koppling till transgena djurmodeller och resultaten har stor relevans för många tillämpningar inom bioteknik och medicin. Stora framsteg görs av svenska forskare inom den teoretiska biokemin, bland annat inom kvantmekanik, proteinveckning och 3D-strukturprediktion.

Under senare år har insatser från svenska forskargrupper resulterat i en djupare förståelse för reaktiva centra i enzymkatalytiska processer byggd på

bland annat koordinations- och redoxkemi. Den starkt ökade kunskapsbasen vad gäller enzymkatalytiska reaktionsförlopp kommer att ha stor betydelse för försöken att med biofysikaliska metoder lösa viktiga tekniska problem, till exempel för nya industriella metoder att framställa fibrer baserade på naturprodukter och för väte- och ammoniakproduktion.

#### STYRKOR OCH SVAGHETER

## Explosionsartad utveckling

Svensk grundforskning inom biokemi och biofysik har haft en stark internationell ställning, men den har blivit svagare under de senaste tio åren, särskilt i perspektivet av den ”genomrevolution” som vi nu står mitt i. Inom vissa underområden har ämnet dock internationellt en mycket stark ställning. Det gäller till exempel membranbiokemi, proteinbiokemi, strukturbologi, teoretisk biokemi och molekylär biofysik.

#### UTVECKLINGSTENDENSER

## Har medicinsk betydelse

En viktig och generell trend inom ämnesområdet är att i kvantitativa termer beskriva dynamik och energiförlopp hos biomolekyler, särskilt proteiner och nukleinsyror. Experimentella och teoretiska studier av proteinveckning är ett viktigt och framgångsrikt område. Området har inte bara grundvetenskaplig betydelse utan också medicinsk betydelse för förståelsen av uppkomsten av till exempel prionsjukdomar och Alzheimer. Utveckling av nya förbättrade enzym, framtagna genom struktur- och funktionsstudier av de intakta enzymen, samt enzymvarianter producerade med riktad mutagenes av enskilda aminosyror eller genom så kallade riktad evolution, kommer att ha mycket stor bioteknisk och medicinsk betydelse.

Det delområde inom funktionsgenomiken som kommer att vidareutvecklas metodologiskt, men även konceptuellt, är proteomiken med betoning på att förstå de lagar som styr dynamik hos proteiner i katalytiska och regulatoriska förlopp. Här kommer en vidareutveckling av många olika metoder att vara centrala: allt från enzymologi (proteinbiokemi med karaktärisering av modifierationer hos proteiner erhållna från en och samma gen och masspektroskopi) till strukturbestämning av proteiner (renframställda, rekombinanta) eller av proteinkomplex (med tidsupplöst röntgendiffraktion baserad på synkrotronljus och högupplösande multidimensionell NMR).

## Framtidens biokemi

Den teoretiska biokemin har utvecklats explosionsartat och kommer att vara en utgångspunkt och en central del av framtidens biokemi och biofysik. Många forskningsprojekt kommer också att kräva tillgång till kraftfull bioinformatik parallellt med det experimentella arbetet.

Studier av komplexa system, innefattande simulering och visualisering av transportförlopp och metabola reglerprocesser i celler eller organeller har blivit möjliga. Dessa kommer att vidareutvecklas till att omfatta studier och manipulering av integrerade metabola processer som omfattar hela organeller eller cellsystem. Studier av interaktioner mellan proteiner respektive mellan proteiner och ligander med kromatografiska och masspektrometriska metoder kopplade till väte/deuterium utbytestekniker kommer att vidga möjligheterna att bestämma proteininteraktioner och dynamiska förlopp.

Ett nytt viktigt område är strukturgenomik. Området innefattar kloning, expression, rening och kristallisation av ett stort antal olika genprodukter från både kända och okända gener från olika genom utfört med automatiska metoder följt av strukturbestämning. Den information som genereras kommer att kunna användas i databaser för att definiera genfamiljer baserad på strukturell likhet. Informationen kan också användas för upptäckt av nya strukturer vars funktioner kan studeras och karaktäriseras. Strukturgenomik kan dessutom användas för att få information om nya målproteiner, till exempel virus och bakterier som kan användas för läkemedelsutveckling. Robotik och tillgång till synkrotronfaciliteter är en förutsättning för denna typ av forskning. Området strukturgenomik är under stark expansion internationellt och den uppbyggnad av motsvarande kompetens i Sverige som redan har inletts bör kraftfullt fullföljas.

## Manipulerar funktionen

Viktiga utvecklingstendenser är en utvidgning av hypotesstyrd funktionsgenomik, baserad på proteomik, teoretisk biokemi och molekylär biofysik, särskilt med inriktning mot redan starka svenska områden såsom membranbiokemi, glykobiokemi, enzymologi och metabolisk reglering. Framsteg har redan gjorts inom det viktiga området membranpenetrerande peptider. En vidareutveckling av metoder för mätning av enskilda molekylers egenskaper kommer att ske och det kommer att innebära en ny typ av biokemi och biofysik baserad på populationsdynamik istället för på medelvärdesbestämningar.

En trend är att studera och manipulera funktionen hos enskilda molekyler i realtid med en trolig framtida betydelse inom nanoteknologin. På motsvarande

sätt kan också studiet av intakta celler utvecklas. Här är tillgång till och utveckling av nya fluorescerande markörer av central betydelse. Mycket viktig är också användningen av små regulatoriska RNA-molekyler (siRNA) för att inaktivera genuttrycket i olika cellsystem, vilket ger information om genproduktens fysiologiska funktioner.

Biokemin kan inom en snar framtid ge en helhetssyn och möjlighet att på cellnivå förstå och simulera integrerade förlopp som bestäms av substratens kemiska egenskaper, enzymernas kinetiska egenskaper och intracellulär diffusion samt fördelning av de reaktiva komponenterna.

Biokemisk toxikologi erbjuder möjligheter att fritt variera kemiska egenskaper hos substrat samt renkonstitution av metabolismvägar genom genetisk ingenjörskonst. Det står klart att ett nytt viktigt område som beräkningsbiokemi på cellulär nivå måste vila på biokemi och enzymologi av allra högsta klass, vilket är en uppgift för Vetenskapsrådet att stödja. Inom detta område samt inom visualisering av cellulära transport- och signaleringssystem behövs sannolikt förstärkta insatser.

## STRATEGIER

### Stöd forskarutbildningen

Riktade insatser på smala forskningsområden bör undvikas och i stället ska hypotesstyrd grundforskning samt forskarutbildning stödjas. En satsning på doktorander med full finansiering av deras forskningsverksamhet är ytterst önskvärt. Satsningen ska ske med ett sådant antal att även yngre etablerade forskare (docenter/lektorer) vid våra universitet har en rimlig chans att få en sådan resurs.

En satsning på att stärka basresurserna och infrastrukturen med dyr utrustning (till exempel NMR och instrument för masspektrometri, MAX-II-strållinjer, högpresterande datorer) och medeldyr utrustning är nödvändig, då senare års minimala beviljning liksom universitetens extrema ekonomiska bantning har inneburit en drastisk försvagning av basinstrumenteringen på många universitetslaboratorier.

Det krävs en intensiv informationsverksamhet riktad mot politiker, massmedia och allmänhet för att höja statusen hos yrken inom naturvetenskap och teknikvetenskap. Detta är en förutsättning för ökat stöd till Vetenskapsrådet, ökat antal studenter på grund- och forskarutbildningsnivå och för det svenska samhällets framtida kulturella och ekonomiska utveckling.

## Administrationen måste minskas

En allt större andel av de offentliga resurserna används för administration och svenska forskare är sysselsatta med alltfler administrativa uppgifter. Det är en utveckling som måste brytas då det på sikt kommer leda till en utarmning av våra intellektuella och ekonomiska resurser.

# Bioteknik

## BEDÖMNING

- ▶ Teknikvetenskapen har blivit en allt viktigare del av såväl den moderna medicinska forskningen som den biologiska. En stor del av denna forskning kräver modern spetsteknik för att vara internationellt konkurrenskraftig. Det är därför av stor nationell vikt att stödja utveckling av ny teknik inom dessa områden, men också att stödja användningen av moderna tekniker via olika typer av resurscentra.
- ▶ För Sverige är det viktigt att upprätthålla en internationellt gångbar teknikvetenskaplig forskning och att kombinera detta med god användarkompetens inom centrala forskningsområden såsom funktionsgenomik, biosensorer (inklusive mikromatriser), bioinformatik och kombinatorisk biokemi.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Effektivisering av klassisk proteinforskning

Bioteknik kan definieras som användningen av biologiska system eller kunskap för att producera eller förädla produkter. Grundvetenskaplig forskning inom detta område är ofta kopplad till utveckling av nya metoder, forskningsverktyg eller alternativt användning av avancerade tekniska system för att studera biologiska eller medicinska frågeställningar.

Ett typexempel på nutida grundläggande forskning inom bioteknikområdet är dagens proteomikforskning. Den är baserad på metodik och teknik för separation och karaktärisering av proteiners funktion, som är en utveckling och effektivisering av klassisk proteinforskning. Proteomikforskningen är grunden för vidare forskning i flera riktningar (inom bioteknik och medicin). På samma sätt har forskning inom bioinformatik lett till att nya forskningsfält har bildats och att ny kunskap nu kan genereras. Bioteknikforskningen är mycket beroende

av *European Bioinformatics Institute* (EBI, Cambridge) och *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL, Heidelberg) som har fungerat som grogrund för många svenska forskare.

Bioteknik karaktäriseras av betydande inslag av tvär- och mångvetenskap. Forskningen spänner från nanoteknologi med kompetens inom mikrofluidik, materialteknik och bioinformatik, via sin kombination av biologi och informationsteknik till rena laborativa verksamheter såsom kombinatoriska selektionssystem och proteinkaraktärisering, och vidare till konstruktion av nya organismer inom jord- och skogsbruket. Området kan beskrivas med hjälp av några exempel på viktiga forskningsfält:

- Utveckling av molekylärbiologiska verktyg
- Proteinrelaterad ingenjörskonst, särskilt då generella principer inom kombinatorisk proteinrelaterad ingenjörskonst, det vill säga skapandet av nya proteinbibliotek och nya selektionssystem.
- Enzymforskning, till exempel metoder för riktad evolution av enzymer
- Teknikutveckling inom funktionsgenomik och proteomik
- Metodutveckling inom immunteknikområdet
- Metodutveckling inom nanobioteknikområdet, inkluderande protein-array-fältet
- Mikrobiell bioteknik, till exempel metoder att skräddarsy mikroorganismer för olika tillämpningar
- Utveckling av bioinformatiska verktyg och mjukvaror
- Metodutveckling inom bioseparation och bioprosessteknik
- Metodutveckling inom växt- och skogsbioteknik, inklusive skräddarsydda organismer med nya kvalitetsegenskaper

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Svenska pionjärer inom bioteknik

Sverige har under lång tid varit mycket framgångsrika inom den biotekniska forskningen. Pionjärer såsom Nobel-pristagarna Svedberg (ultracentrifugen) och Tiselius (elektrofores) har följts upp av liknande teknikdriven forskning som lett till nya bioteknikverktyg med mycket stor internationell genomslag. Sådana exempel är proteinkromatografi under 60-talet, ELISA under 70-talet, biosensorer under 80-talet och nya DNA-diagnostiker under 90-talet (Dash, Padlock, Pyrosequencing).

Sverige står för cirka två procent av antalet publicerade artiklar i världen inom området bioteknik. När det gäller citeringsfrekvens ligger svenska forskare



i paritet med övriga Europa, men är betydligt sämre än forskare i USA. Svensk forsknings styrkor inom bioteknik finns främst inom:

- Proteinseparation
- Proteinkaraktärisering (biosensorer, nanoteknologi)
- DNA-analysteknik (exempelvis DASH, pyrosequencing, padlock-probes, minisequencing, transkriptionsanalysetoder)
- Bioinformatik

Bredden är stor inom svensk bioteknikforskning. Detta kan sannolikt ses både positivt och negativt. Sverige har för att vara ett litet land stor bredd och publiceringsvolym, men särskilda styrkeområden kanske inte premieras tillräckligt. Anslagen fördelas ganska jämnt till alla områden, och ”elitgruppssatsningar” är ovanliga.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Riktade resurssatsningar runt om i världen

Utvecklingen i USA, Europa och Japan har visat en mycket tydlig tendens mot riktade resurssatsningar. Detta har också anammats i Sverige och här finns just nu riktade resurssatsningar på nyckelområden i formen av excellens-, kompetens- eller resurscentra finansierade av forskningsstiftelser som Wallenbergstiftelsen, SSF, NUTEK/VINNOVA inom biotekniken: bioinformatik, SNP-analys, microarrays, proteomik, proteinstruktur, bioprosessteknik, bioseparation och skogsbioteknik.

## STRATEGIER

### Satsa på fyra områden

Satsningar bör göras inom dessa områden:

- Storskalig DNA-analys (SNP-genotypning)
- Miniaturiserade och parallelliserade analyser (nanobioteknik)
- Proteomik (byggande vidare på Sveriges starka tradition inom proteinseparation och proteinkaraktärisering)
- Strukturgenomik



*Teknikvetenskapen har blivit en allt viktigare del av såväl den moderna medicinska som den biologiska forskningen. En stor del av denna forskning kräver den modernaste tekniken för att vara internationellt konkurrenskraftig.*

Stora bilden: I varma källor på Island finns bakterier som producerar enzymer med extremt hög värmetålighet. Enzymerna bryter ned kolhydrater och är därför mycket intressanta vid förnyelse av biomassa. Biomassa är en stor resurs som råmaterial i en mängd industriella tillämpningar, t.ex. läkemedel, livsmedel, foder, textil och pappersmassa. Här skulle enzymets sällsynta värmestabilitet vara en stor fördel. Ett av många projekt inom bioteknik syftar till förstärkelse och förbättring av enzymets värmetålighet. Foto: Eva Nordberg

Lilla bilden: Områdena kring rödfärgade kolhydrater klarnar upp när bakterier som är isolerade ur varma källor, producerar enzymer som bryter ned kolhydraterna trots hög temperatur. Foto: Eva Nordberg

## En balans mellan projektbidrag och riktade satsningar

De riktade satsningar inom bioteknik som nu genomförs av Wallenbergsstiftelsen, SSF och NUTEK/VINNOVA är givetvis av stor vikt för att avancera forskningen i riktningar som är strategiskt viktiga för landet. Det är dock av yttersta vikt att hitta en balans mellan dessa riktade satsningar och den typen av projektanslag som är stommen i Vetenskapsrådets satsningar. Det är viktigt att Vetenskapsrådet tydligt deklarerar sin ståndpunkt och roll i den forskning och för de forskare som idag finansieras på de teknikcentra som är resultatet av de riktade satsningarna varav flertalet löper ut åren 2004–2005. Det är nödvändigt med en policy om och hur statliga medel ska gå in och vidare stödja dessa satsningar eller inte och i så fall via vilken instans. Den forskning som har bedrivits och de forskare (den kompetens) som verkat i dessa resurscentra behöver fångas upp så att de viktiga erfarenheterna inte går förlorade för Sverige.

Vetenskapsrådets satsning på biovetenskap och bioteknik har varit mycket värdefull och en i framtiden särskild insats inom området molekylära livsprocesser skulle på ett mycket kraftfullt sätt kunna förena den biotekniska forskningen med verksamhet inom biokemi, cellbiologi, molekylärbiologi och organismbiologi.

# Organisk, oorganisk och analytisk kemi

## BEDÖMNING

- ▶ Svensk forskning inom kemiområdet har genererat ett antal nya läkemedel med mycket stor medicinsk och ekonomisk betydelse och det är viktigt att detta kommer att ske även i fortsättningen.
- ▶ Den moderna biologin har identifierat en rad nya potentiella måltavlor för nya farmaka, vilket gör det angeläget att komma till rätta med bristen på organiska kemister i landet.
- ▶ Nya syntesmetoder som genererar minimala mängder rest- och biprodukter, så kallad grön kemi, förväntas få en allt större betydelse under kommande år.
- ▶ Bioanalytisk forskning med inriktning mot analys av mycket små mängder kommer att vara en allt mera angelägen forskningsgren i framtiden.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Bygger broar mellan disciplinerna

Forskningen inom ämnesområdet är till största delen experimentell i sin karaktär, men stöd från teoretiska metoder blir allt viktigare. Verksamheten är inriktad på att få en fördjupad kunskap om molekylära interaktioner. Forskningen innefattar utveckling av metoder som tillåter både framställning och ingående studier av de mest komplexa molekylerna.

Den organiska syntesen har härvidlag en nyckelroll och kan delas upp i en inomvetenskaplig och en tvärvetenskaplig del. I den inomvetenskapliga delen ingår preparativ organisk kemi som bearbetar syntetisk metod- och processutveckling. Den metallorganiska kemien, som är nära kopplad till den organiska syntesen, är ett utmärkt exempel på ett område med inslag av dynamisk metod-

utveckling. Där sker ständigt en utveckling av principiellt nya reaktioner. Asymmetrisk katalys har i allmänhet baserats på metallkomplex, vilket innebär att man i kunskapssökandet bygger en bro mellan de två klassiska disciplinerna oorganisk och organisk kemi. Metodutvecklingen inom organisk kemi är nära samordnad med fysikalisk organisk kemi eftersom arbetet kräver en djup förståelse av de ingående reaktionsmekanismerna. I detta arbete kommer även kunskap från andra delar av kemin, som fysikalisk kemi, teoretisk kemi och strukturkemi, till användning.

Den tvärvetenskapliga delen av den organiska synteskemin fungerar som en brygga till olika tillämpningar inom till exempel biologi och fysik. Nya ämnesområden, som bioorganisk kemi och läkemedelskemi, har i dagens kemiforskning fått en framträdande position på grund av sin stora betydelse i modern läkemedelsutveckling. Forskarna bearbetar här tvärvetenskapliga problemställningar med syftet att förstå samspelet mellan små organiska molekyler och stora biomolekyler, såsom proteiner och nukleinsyror. Inom koordinationskemin och gränsområdet mot biokemin finns ett starkt intresse för metalljonernas roll i de biologiska systemen och bio-oorganisk kemi har nu funnit starka företrädare i landet.

## Bioanalys växer snabbast

De svenska forskarna arbetar också med frågeställningar om metalljoners koordinationskemi vid olika fasgränssytor och metalliska och icke-metalliska kluster. Inom polymerkemin bearbetas frågor om högmolekylära föreningar innehållande repeterande enheter som oftast är framställda med syntetiska metoder. Polymerkemin har en nära koppling till såväl den organiska kemin som fysikalisk kemi och ytkemi.

Inom den instrumentella analytiska kemin finns ett stort inslag av integrerade automatiska analysystem för specifika tillämpningar. Forskarna studerar miniatyriserade separationer, som till exempel kapillärelektrofores och utveckling av elektrokromatografi. Det snabbast växande området inom den analytiska kemin är den bioanalytiska sektorn och relativt omfattande forskning och utvecklingsarbete pågår inom området masspektrometri. Elektroanalytisk kemi är ett klassiskt område inom den analytiska kemin.

## Kända läkemedel

Svenska forskare har bidragit med ett antal mycket betydelsefulla upptäckter. De påtagligaste exemplen finns inom läkemedelsområdet där framtagningen av lidokain (Xylocain) hör till de allra viktigaste. Denna uppfinning blev nämligen starten för ett framgångsrikt Astra. Uppfinnarna bakom omeprazol (Losec) och

metoprolol (Seloken) är enligt patenten svenska organiska kemister eller läkemedelskemister. Losec var under ett årtionde världens mest sålda läkemedel och Seloken var under en lång tid Sveriges mest sålda läkemedel.

Designen bakom Astras budesonid (Pulmicort, Rhinocort), under många år världens näst mest sålda läkemedel, och den perorala bronkdelateraren bambuterol (Bambec) har skapats av organiska synteskemister och läkemedelskemister. Tolterodin (Detrusitol) och latanoprost (Xalatan) tillhör Pharmacias mest sålda läkemedel och har tagits fram genom organiska kemister i Uppsala.

Listan på framgångsrik organisk kemi och läkemedelskemi med stora inslag av grundforskning och som har fått stor nationell betydelse är mycket lång. Flera läkemedelsorienterade bioteknikföretag har under senare år sett dagens ljus. Likaledes finns framgångsområden inom den analytiska och oorganiska kemin. Läkemedelsindustrin står idag i särklass när det gäller forskningsnära produktutveckling med stort ekonomiskt genomslag och förutsätter även tillgång till välutbildade analytiska kemister.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

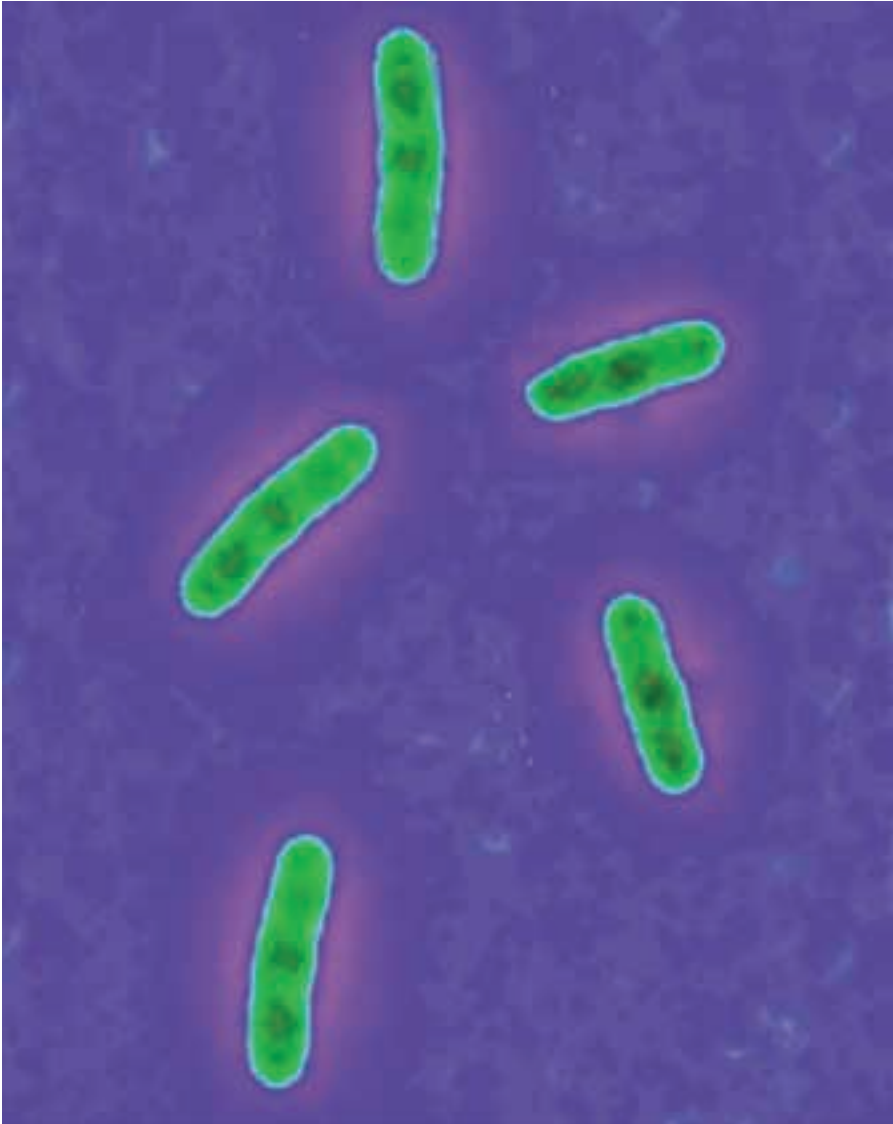
### De nya områdena växer fram

Forskningens internationella ställning inom ämnesområdet i sin helhet har inte förändrats påtagligt under den senaste tioårsperioden. Vissa delområden har dock fått en starkare position medan andra har försvagats. Det finns ett flertal områden där svensk forskning är mycket stark. Ett sådant exempel finns inom den organiska syntesen och den metallorganiska kemin där svenska forskares utveckling av katalytiska system för selektiv organisk syntes är mycket uppmärksamman internationellt.

Koordinationskemin, speciellt studier av övergångsmetallkomplex, och bioorganisk kemi har under de senare åren vuxit sig allt starkare i landet med flera unga företrädare. Samtidigt har den klassiska lösningskemin fått en mindre roll. Andra områden med framgångsrika svenska företrädare finns inom kolhydratkemin där organisk syntes av oligosackarider och strukturutredningar stått i fokus. Detta område har en mycket lång svensk tradition. Den besläktade oligonukleotidkemin bedrivs också med stor svensk framgång av flera aktiva forskargrupper.

### Förändrad inriktning

Under den senaste tioårsperioden har peptidkemin ändrat karaktär. Framgångsrik forskning har lett till att helsyntetiska katalytiskt aktiva oligopeptider har kunnat framställas och komplexa glykopeptider har nu syntetiserats. Peptid-



*Svensk forskning inom kemiområdet har genererat ett antal nya läkemedel med mycket stor medicinsk och ekonomisk betydelse och det är viktigt att detta kommer att ske även i fortsättningen.*

Vissa sjukdomsframkallande bakterier använder speciella proteiner för att kunna fastna på den vävnad den infekterar. Detta "klistre" mellan bakterien och vävnaden kan bli målet för ett läkemedel att angripa istället för att angripa själva bakterien. Genom att undersöka de kemiska processerna på molekylär nivå när proteiner binder till andra proteiner eller molekyler, vinner forskningen kunskap som skapar en bas för utveckling av nya läkemedel. Bilden visar en vanlig bakterie, *E. coli*, som bl.a. orsakar urinvägsinfektion. Foto: Jakob Halaska-Windh

analoger och peptidmimetika har vidare skräddarsyttts för tänkbara medicinska applikationer. Det ska noteras att en stor del av den bioorienterade kemin (främst representerad av bioorganisk och bio-oorganisk kemi samt läkemedelskemi) har som övergripande målsättning att öka förståelsen för interaktioner mellan små molekyler och endogena makromolekyler. Utveckling av enzymbaserade elektroder och specifika biosensorer är ett mycket starkt område och var så även för tio år sedan. Analyser i nanoliterområdet i proteinmodifierade vesiklar och nano-separationer i kapillärer är vidare två områden som rönt stor uppmärksamhet. I Sverige är också forskningen inom polymerkemi av hög kvalitet.

Den fysikaliska organiska kemin är en mycket viktig disciplin av fundamental karaktär; dessvärre är färre svenska forskare verksamma inom disciplinen i dag än för tio år sedan. Ett annat område med svårigheter är heterocykelkemin, där den svenska positionen inom främst den syntetiska delen fallit tillbaka. Totalsyntes av komplexa naturprodukter och liknande verksamheter som är resurskrävande är ibland stora verksamhetsområden internationellt men har ett relativt litet omfång i Sverige. Det finns dock duktiga forskare inom naturproduktssyntes i Sverige. Forskning kring betydande delar inom spektroskopidelen av den analytiska kemin bedöms vidare ha blivit något eftersatt under de senaste åren.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Tvärvetenskapliga frågeställningar

Rent allmänt finns en tendens att utnyttja kompetensen inom olika specialområden för studier av frågeställningar av tvärvetenskaplig karaktär, speciellt med inriktning mot biovetenskap, medicin och materialvetenskap.

Metalljoners koordinationskemi vid olika fasgränssytor kommer sannolikt att få en hög aktualitet med många materialvetenskapliga, medicinska, biologiska och geokemiska tillämpningar. Detta gäller speciellt gränssnittet fast fas/lösning där modern ytspektroskopisk instrumentering och kraftfulla beräkningsmetoder nu öppnat möjligheter till karaktärisering av fasgränssytoras koordinationskemi på molekylär nivå.

Inom nanokemin kommer förutsägbar design av fasta material, det vill säga kristallina faser med önskade fysikaliska egenskaper, att få ökad betydelse. Det multidisciplinära verktyg som utnyttjas internationellt för detta ändamål är kristallbyggnadsvetenskap. Genom att betrakta en kristall ur ett supramolekylärt perspektiv och identifiera och studera de svaga interaktionerna mellan kristallens byggstenar kan dessa byggstenar sedan fås att bilda ett önskat tredimensionellt mönster. I verktyget kristallbyggnadsvetenskap sammanförs alltså supra-



molekylärkemi, molekylär igenkänning och nanokemi för att skraddarsy ett kristallint material med önskade egenskaper (syntetomik) som kan fungera som bland annat ledare, resistorer och dioder i elektronikkretsar.

Elektronikkomponenter blir allt mindre och förväntas nå den molekylära nivån inom en period på tio till tjugo år. Runt om i världen har ett intensivt forskningsarbete startat för design, syntes och karaktärisering av molekylära och supramolekylära system. Ett angränsande forskningsfält är design av molekylära motorer och switchar som kan användas inom exempelvis molekylära minneskretsar. Området är starkt mångvetenskapligt och organiska kemister verksamma inom fältet förväntas växelverka med forskare inom mikroelektronik, fysik och fysikalisk kemi.

## Smått blir mindre

Den generella trenden inom den analytiska kemin går mot miniatyrisering, multiplexing och problemlösning inom det biovetenskapliga området. Således blir bioanalytisk kemi inom olika områden (genomik, proteomik, metabolik, cellomik) förmodligen mer och mer framträdande. Traditionellt har analytiska kemister sysslat med att utveckla metodik och analysteknik för kvantifiering och identifiering av kända viktiga analyter, en verksamhet som även i fortsättningen kommer att behövas. Men trenden verkar nu gå mot att utnyttja olika typer av biomarkörer som en del av den analytiska processen (gener, enzymer, antikroppar, receptorer, celler), varvid man försöker korrelera erhållna analysdata med biologiskt viktiga förlopp.

Inom det miljöanalytiska området kommer det även i fortsättningen att finnas ett stort behov av billiga, mycket känsliga analysmetoder för kvantifiering och identifiering av miljöfarliga ämnen. Den del av den molekylära miljövetenskapen som omfattar studier på atomär och molekylär nivå av kopplade biologiska och geokemiska processer i vår miljö kan förväntas få allt större betydelse.

En allt större miljömedvetenhet har vidare fått kemister att sträva efter att utveckla nya syntesmetoder, ibland baserade på selektiv biokatalys, vilka genererar minimala mängder rest- och biprodukter vid syntesprocesser. Gamla syntesmetoder byts sålunda ut mot nya, mindre energikrävande och mer atomekonomiska. Denna verksamhet har blivit en världsomspännande rörelse och så kallad grön kemi kan förväntas få en allt större betydelse under kommande år. Det kommer sannolikt att bli en allt viktigare uppgift för forskare och lärare att se till att utvecklandet av grön kemi synliggörs och att denna verksamhet får en given plats på schemat. Välstånd och livskvalitet är i mycket stor utsträckning beroende av att grön kemi utvecklas och tas på allvar.

## Syntesteknik i utveckling

Önskan att kunna styra och kontrollera levande cellers funktion med hjälp av små organiska molekyler kommer förmodligen till stor del att driva utvecklingen av syntestekniken. Den funktionella genomforskningen har lett till att ett mycket stort antal nya proteiner med potentiell relevans vid sjukdomsförlopp har kunnat identifieras och karaktäriseras.

Dagens läkemedel utnyttjar endast mellan 180 och 220 av dessa proteiner och antalet målproteiner som för närvarande bearbetas inom den farmaceutiska industrin kan uppskattas till cirka 600. Det har bedömts att mellan 5 000 och 7 000 proteiner skulle kunna vara framtida mål för läkemedel. Peptider och proteiner är – med få undantag som till exempel insulin – oanvändbara som läkemedel på grund av den oftast obefintliga biotillgängligheten efter oral absorption. Läkemedel är därför nästan alltid små organiska föreningar.

Den moderna biologin har nu försett vetenskapssamhället med ett smörgåsbord med potentiella måltavlor för nya farmaka. Under den närmaste tioårsperioden kommer det att ställas höga krav på kemisters förmåga att effektivt och med stor träffsäkerhet kunna skraddarsy och framställa selektiva lågmolekylära proteinligander som framtidens läkemedel.

Begreppet synteomik har myntats för att beskriva den nya forskningsinriktningen som följer efter genomik och proteomik och vars mål är att förädla den ofantliga kunskapsmängd som har genererats av den moderna biologin så att den kommer mänskligheten till nytta i form av nya terapier i framtiden.

## STRATEGIER

### Kemi och biologi i samverkan

Grundforskning som rör syntes av alla slag, såväl organisk, bioorganisk som metallorganisk, behöver förstärkas. Det är en brist på organiska kemister och läkemedelskemister i landet och efterfrågan från främst de farmaceutiska industrierna och bioteknikindustrierna har varit stor. Rekryteringen av framtida professorer med syntesinriktning kan bli mycket problematisk. Analytiska kemister är också mycket efterfrågade. Att knyta toppkrafter från våra industrier via adjungerade professurer är förmodligen inte någon långsiktig lösning på problemet.

Satsningar på forskarassistenter bör prioriteras och på ett sätt så att de sprids över alla centrala subdiscipliner. Antalet rådsforskare bör förbli på samma nivå som tidigare. Svårigheten att bevilja medel till medeldyr utrustning un-

der rådande ekonomiska förhållanden är olycklig och bör åtgärdas. En möjlighet är kanske att avsätta särskilda medel för detta ändamål.

Molekylära tekniker och syntes bör kunna vara föremål för riktade satsningar. Stöd av grundforskning som rör växelverkan mellan biologiska makromolekyler och små ligander vore synnerligen önskvärd.

En samverkan mellan beräkningskemister, fysikaliska kemister, läkemedelskemister, synteskemister, analytiska kemister, biokemister, strukturbiologer och biologer skulle kunna generera lysande forskningsresultat och öppna nya forskningsfält. ”Kemi och biologi i samverkan” eller ”Molekylära skeenden i biologiska system” skulle kunna vara namnet på ett sådant tema.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Stjärnorna går till industrin

Kärnverksamheten för Vetenskapsrådet är och måste vara att förse goda forskare med projektbidrag. När strategiska satsningar från SSF, EU och även Vetenskapsrådet får allt större utrymme är det extra viktigt att Vetenskapsrådet bevakar basfinansieringen av universitetsforskningen. För att upprätthålla bredden måste de goda forskare vars verksamhet ligger utanför de strategiska storsatsningarna beaktas som prioriterade rådkunder. Utan stöd från Vetenskapsrådet är dessa grundforskare ofta helt avväpnade.

Ett allvarligt problem inom vissa områden, till exempel läkemedelskemi, är att behålla de bästa och driftigaste ungdomarna vid universiteten. Listan på unga krafter inom den syntetiska kemin som har lämnat universitetsvärlden kan göras lång. Att de mest lysande forskarstjärnorna ofta finns inom industrin är kanske en självklarhet och det kanske ska vara på det sättet. Det är dock viktigt att yrket universitetsforskare görs tillräckligt attraktivt så att vi inte tappar ytterligare mark. Mycket viktigt är att vi även efter år 2010 har en god kvalitet i forskning och forskarutbildning inom ämnesområdet.

Man kan vidare konstatera att den i sig vällovliga satsningen på större bidrag har lett till att gränsen för beviljning hamnat högt upp i prioritetslistorna med följderna att duktiga forskare blivit helt utan bidrag. Detta är naturligtvis beklagligt; man bör vara medveten om att det kan utgöra ett slöseri med universitetens humankapital. Duktiga forskare i 40–50-årsåldern som har fått avslag har resignerat och planerar inte att lämna in några fler ansökningar.

# Fysikalisk och teoretisk kemi

## BEDÖMNING

- ▶ Sverige har en lång tradition inom fysikalisk och teoretisk kemi och ligger alltså i forskningsfronten inom flera av dess delområden.
- ▶ Fysikalisk och teoretisk kemi utvecklas mot en allt större integration med andra grundvetenskapliga och tillämpade områden som nanovetenskap, molekylärbiologi, biokemi och materialvetenskap.
- ▶ Studiet av molekylär dynamik i komplexa system är ett vetenskapligt viktigt område som har stor utvecklingspotential i landet.
- ▶ På grund av det ökande behovet av teoretiskt stöd i experimentella studier bör man utnyttja möjligheten att genom begränsade ekonomiska insatser upprätthålla en så bred teoretisk verksamhet som möjligt.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Två huvudlinjer

Forskningen inom fysikalisk och teoretisk kemi är inriktad på att besvara kemiska molekylära frågeställningar med experimentella eller teoretiska metoder som har sin grund inom experimentell och teoretisk fysik. Inom dagens teoretiska kemi finns två huvudlinjer. Den ena utgår från en kvantmekanisk beskrivning av elektroner och atomer. Målet för denna huvudlinje är att beräkna energier och strukturer för olika molekylära tillstånd samt hastigheter för övergångar mellan dessa tillstånd.

Inom den andra huvudlinjen, den statistiska mekaniken, utgår forskarna från en känd eller antagen växelverkan mellan molekyler och beräknar egen-

skaper hos ett stort antal molekyler i samverkan i till exempel en vätska. Även om den teoretiska analysen utgör en oundgänglig bas så är huvuddelen av forskningsarbetet kvantitativt sett omfattande numeriska beräkningar. Det är därför naturligt att den teoretiska kemins betydelse har ökat i takt med att datorkapaciteten ökat.

## Energi överförs

Den mer experimentellt inriktade fysikaliska kemien kan vara inriktad på en mängd olika kemiska problem, men ofta används någon form av spektroskopi. De två viktigaste metoderna i dag är kärnmagnetisk resonans och laserbaserad optisk spektroskopi. Intresset är fokuserat på dynamiska processer som energiöverföring mellan molekyler och molekylers rörlighet. De viktigaste tillämpningarna finns inom det biologiska området där spektroskopin har visat sig vara mycket kraftfull för att karaktärisera den molekylära dynamiken i biologiska processer.

Yt- och kolloidkemin är en inriktning av den fysikaliska kemien med en mer teknisk profil. Forskningen tenderar i detta fall att vara problemorienterad snarare än metodbaserad och den utnyttjar såväl teoretiska metoder som spektroskopi-, mikroskopi- och spridningsmetoder. Förutom att vara av teknisk betydelse finns vetenskapligt viktiga tillämpningar av yt- och kolloidkemin inom materialvetenskap, nanovetenskap och grundläggande molekylärbiologi.

För varje delområde ges i det följande exempel på svensk forskning med stora konsekvenser, vetenskapliga och/eller i tillämpningar. Inom kvantkemin bör MOLCAS-projektet nämnas. Det är ett programpaket för kvantkemiska beräkningar som används av många kemister, kvantkemister såväl som andra kemister, både inom akademisk forskning och inom industrin. Projektet har nyligen fått stöd av SSF för vidareutveckling av programpaketet och eventuell vidare kommersialisering.

## Flera genombrott

Inom statistisk mekanik och simulering gjordes ett genombrott 1984–85 då flera forskare i landet fann att makromolekyler och kolloidala partiklar med lika laddning kan attrahera varandra via en korrelationseffekt hos motjonerna. Detta resultat har under de senaste åren fått ett starkt genomslag och funnit viktiga tillämpningar både inom biokemi, molekylärbiologi och i tekniska sammanhang.

Inom området kärnresonans går det nu att i ett och samma försök bestämma diffusionen hos flera komponenter i ett komplext system genom att kombinera etablerad metodik för diffusionsmätning med Fouriertransformtekniken. Denna

svenska metodik har fått en stor användning, inte minst inom yt- och kolloidkemin.

Inom laserspektroskopin har svenska forskare lyckats mäta och analysera energiöverföringsmekanismer i det antennkomplex som står för ljusinfångning i växter och bakteriers fotosyntessystem. Resultaten har väckt stor uppmärksamhet inom den viktiga fotosyntesforskningen. Slutligen, inom yt- och kolloidkemi kan nämnas kubiska faser och kubosomer vid framtagning av läkemedel. Svensk grundforskning om kubiska flytande kristallina faser har lett fram till en teknisk tillämpning inom läkemedelsområdet där till exempel ett företag (CAMURUS) har kubosomer som ett grundläggande koncept. Resultaten har också visat sig ha stor biologisk relevans.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

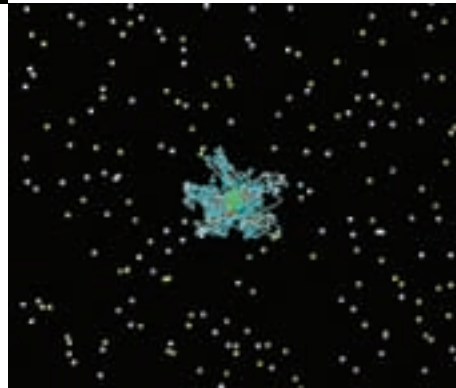
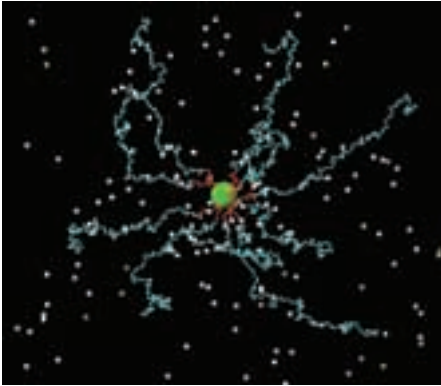
### Svenska forskare citeras

Inom beredningsgruppens område finns ett flertal internationellt starka grupper representerade både inom den teoretiska och den fysikaliska kemin. Detta gäller idag såväl som för tio år sedan. Denna bedömning kan stärkas på flera sätt. Under den senaste tioårsperioden har det i NFR:s respektive Vetenskapsrådets regi skett ett antal utvärderingar (*Biophysical Chemistry* 1992, *Fundamental Chemistry* 1995, *Physical Chemistry* 2000 och *Theoretical Chemistry* 2002) som alla identifierar internationellt mycket starka forskare. En annan indikation är en större citeringsanalys av kemilitteraturen (exklusive biokemi och molekylärbiologi) för perioden 1981–1997: i ”tio i topp-listan” med i Sverige aktiva forskare var ämnesområdet representerat med platserna 1, 2, 3, 4, 7, 9 och 10 i gruppen flest citeringar.

### Många starka områden

Den kvantkemiska metodforskningen i landet hade en internationellt mycket stark ställning för tio år sedan. I citatanalysen ovan var de två mest citerade svenskarna kvantkemister. Den metodologiskt inriktade kvantkemin har i stort behållit sin position sedan dess, men det har tillkommit utökad aktivitet på tillämpningssidan. Enligt en internationell utvärdering från 2002 finns i Sverige en världsledande grupp vad gäller kvantkemiska studier av enzymmekanismer.

Beträffande statistisk mekanisk teori visar en jämförelse mellan samma utvärderingar att det för tio år sedan fanns flera starka grupper inom både grundläggande metodologi och tillämpningar på biofysikaliska problem. Denna starka ställning kvarstår på ungefär oförändrad nivå för mer grundläggande frågeställningar, medan det har skett en viss förstärkning på tillämpningssidan. Den



*Sverige har en lång tradition inom fysikalisk och teoretisk kemi och ligger alltså i forskningsfronten inom flera av dess delområden.*

Varför klumpar målarfärg ihop sig? Hur kan man separera två likartade proteiner? Hur kan molekylerna i ett ytskikt fås att växla mellan olika funktioner? Bilderna är resultatet från en datorsimulering av hur små gröna korn fördelas i en vätska. Till varje korn är kedjeformade molekyler bundna och dessa spänns ut eller dras ihop beroende på den omgivande vätskans surhetsgrad. Genom att variera vätskans surhetsgrad ändras därför kornens separation från varandra. Detta kan vara ett sätt att styra vätskans egenskaper. Bild: Anna Akinchina och Per Linse

mer experimentellt orienterade fysikaliska kemin utvärderades år 2000 då man konstaterade att den svenska forskningen stod stark.

De internationellt slagkraftigaste grupperna finns inom tre områden: laserspektroskopi, kärnmagnetisk resonans samt yt- och kolloidkemi. I ett tioårs-perspektiv kan man se att laserspektroskopin och då speciellt femtosekund-spektroskopin vuxit sig mycket starkare, att kärnresonansspektroskopin har behållit sin position och att yt- och kolloidkemin etablerat sig som internationellt mycket stark.

Ett starkt område inom svensk fysikalisk kemi är biofysikalisk kemi som uppvisar internationellt uppmärksammas forskning inom både teoribildning och experimentell verksamhet. Speciellt kan nämnas användandet av optisk spektroskopi på ordnade system av nukleinsyror, nukleinsyraanaloger (PNA) och på komplex av proteiner och nukleinsyror.

Teoretisk beskrivning av transportprocesser och spektroskopi är svagt representerade forskningsområden. Enskilda forskare har här kunnat göra viktiga insatser, men då verksamheten har skett i liten skala har det visat sig svårt att få ett varaktigt finansiellt stöd. Inom den experimentella fysikaliska kemin finns en så stor mängd metoder att det inte är möjligt att man i Sverige ska kunna ha ambitionen att täcka ens de viktigaste metoderna. Svaga områden är spektroskopi, annan än kärnresonans och laserspektroskopi (Raman, IR, ytspektroskopiska metoder). Andra svaga områden är elektrokemi, katalys, studier av gasfasreaktioner och kemisk kinetik. Också i dessa fall finns aktivitet i landet, men man har haft svårt att få till stånd en så internationellt slagkraftig forskning att den har fått adekvat ekonomiskt stöd.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Fokus på molekylernas samverkan

Inom den teoretiska kemin, kvantkemi såväl som statistisk mekanik, har det skett en allt större orientering mot tillämpning. Det gäller både forskare inom området och forskare med andra huvudinriktningar som använder metodiken. Beträffande den mer experimentella fysikaliska kemin och yt- och kolloidkemin har utvecklingen alltmer gått mot en problemmässig integration med andra discipliner såsom biokemi/molekylärbiologi, materialvetenskap och den kondenserade materiens fysik. Till denna trend hör en övergång från ett reduktionistiskt till ett mer holistiskt synsätt.

Inom hela området kommer fokus att mer och mer förflyttas till studiet av (många) molekyler i samverkan. Inte minst viktigt blir studier och analys av dynamiska förlopp i komplexa molekylära system. Detta leder mot tillämpningar inom molekylär elektronik och andra nanosystem, men det leder också mot cellulära molekylära förlopp.

Vidare kommer tekniska framsteg att fortsätta öppna nya möjligheter. Här gäller det ofta också att få en tidsupplösning så att man kan fånga dynamiken i systemet. Förutsebara framsteg i detta avseende är frielektronlasrar, starkare synkrotronljusanläggningar samt kraftfullare neutronkällor. Vi kommer också att få se en fortsatt utveckling av datorprestanda och att döma av tidigare erfarenhet kommer kärnresonanstekniken fortsätta att förbättras.



# Naturvetenskap och teknikvetenskap i samverkan

Ett område som behöver förstärkas rör dynamiska processer i molekylärt komplexa system. Detta kan omfatta så skilda fenomen som kollisionodynamik, ickelinjär kinetik, transportprocesser och dynamik för fasövergångar.

Under de senaste tre till fem åren har medeldyr vetenskaplig utrustning inte kunnat prioriteras på grund av det ekonomiskt trängda läget. Förmodligen har vi nått smärtgränsen och det kan vara viktigt att avsätta speciella medel för denna kategori av utrustning. I övrigt bör det ske en satsning på forskarassistenter och rådsforskare i ungefär den omfattning som skett under tidigare år. Till detta kan komma insatser för postdoktorala studier.

För att i någon mån hantera den alltmer mångvetenskapliga karaktären i forskningen och det ökande överlappet mellan olika ämnesområden bör övergripande riktade insatser ha en sådan utformning att de ökar samverkan mellan olika områden. Ett möjligt tema för att åstadkomma detta är ”Dynamik i komplexa system” som kan ges en matematisk, en reglerteknisk, en process-teknisk, en (makro)biologisk, en cellbiologisk, en molekylärbiologisk, en materialvetenskaplig eller en kemisk inriktning. En annan möjlighet är att stödja forskning på temat ”Naturvetenskap och teknikvetenskap i samverkan” där stöd kan ges till projekt med uttalade grundvetenskapliga frågeställningar, både naturvetenskapliga och teknikvetenskapliga, inte bara projekt med en frågeställning som ligger lite mittemellan naturvetenskap och teknikvetenskap.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Behöver finansiering från flera håll

Många forskare verksamma inom området behöver möjligheten att få stöd av flera olika forskningsfinansiärer. Detta är som princip sunt och bra, men för att få en forskning rik på olika aspekter bör forskningsfinansiärerna arbeta utifrån olika perspektiv och ha olika roller. Ett problem som varit uppenbart under de senaste åren är en samstämmighet i prioriteringar enligt den för stunden rådande trenden. Utifrån kan det inte tolkas som något annat än att de olika organen är oförmögna att genomföra självständiga analyser.

Vetenskapsrådet har ett ansvar för forskare verksamma inom de områden som för tillfället inte anses heta och som dessutom kan ha svårt att vända sig till andra finansiärer. Denna grupp har kommit tydligt i kläm under de senaste cirka fem åren. I det praktiska beredningsarbetet diskuteras dessa frågor på ett

mycket konkret sätt, men det vore lämpligt att ta en diskussion också på ett mer principiellt plan för att se om man kan vidta några strukturella åtgärder.

Speciellt för viss teoretiskt orienterad forskning är att den kan bedrivas meningsfullt med relativt begränsade ekonomiska resurser och här kan ett litet stöd från Vetenskapsrådet säkerställa en kontinuitet i en vetenskapligt värdefull verksamhet.

Ett annat strukturellt problem som har uppstått vid sammanslagningen av NFR och TFR är svårigheten att få en samstämmig syn på vad som är bra forskning. Inom fysikalisk och teoretisk kemi, som domineras av renodlad naturvetenskap men där tekniska aspekter är viktiga för en betydande andel av projekten, har det uppstått en obalans i bedömningen av olika ansökningar. Denna obalans bottnar snarare i okunnighet än i försvar av särintressen. Det är naturligt att problem av denna typ uppstår vid en förändring av organisationen, men man kan inte räkna med att allt löser sig bara man ger det lite tid. Här bör också vidtas mer aktiva åtgärder. Det är vidare positivt för ämnesområdet om man verkar för en bättre integration med projekt inom andra ämnesområden. Specifikt för fysikalisk och teoretisk kemi gäller att det ämnesmässigt finns ett betydande inomvetenskapligt överlapp med olika fysikdiscipliner. Vetenskapsrådet har här en uppgift att främja ett konstruktivt samarbete baserat på ömsesidig respekt och förståelse.

# Kemiteknik

## BEDÖMNING

- ▶ Kemiteknisk forskning är ofta nära knuten till miljörelaterad eller energirelaterad utveckling. Den stora utmaningen att skapa ett bärkraftigt samhälle är en uppgift som kräver ett nära samarbete mellan kemitekniker, miljöforskare, energiforskare och andra.
- ▶ Kemiteknik är den teknologiska basen för processindustrin i vid bemärkelse och ligger till grund för tillverkningsprocesserna i branscher som bioteknik, läkemedel, livsmedel, massa och papper samt mineralanrikning.
- ▶ Kemitekniken är också den teknologiska grundvalen för en stor del av nanoteknologi med förväntade tillämpningsområden inom bland annat mikroelektronik, fotoelektronik och katalys.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Nanomaterial skapar intresse för forskning

Kemiteknik behandlar teknikutveckling som rör processer och produkter av praktiskt och kommersiellt intresse och som vilar på en kemisk kunskapsgrund. Den naturvetenskapliga grunden för kemiteknik är till stor del fysikalisk kemi, och kemitekniken kan alltså – i vid bemärkelse – ses som tillämpad fysikalisk kemi.

Inom ämnesområdet ryms relativt väsensskilda insatser. Exempel på rena tekniska forskningsområden är kristallisation, indunstning och andra enhetsoperationer som är centrala för industriella kemiska processer. Transportprocesser i kemitekniska applikationer är ett annat viktigt forskningsområde med stor gränssyta mot fluidodynamik och reglerteknik.

Projekt inom kemiteknik kan även ha en preparativ inriktning och röra såväl oorganisk som organisk materialsyntes. Ett utpräglat materialområde inom ämnesområdet är fasta tillståndets kemi, ett forskningsfält som ökar i betydelse i och med det ökade intresset för nanomaterial.

Ämnesområdets projekt kan också ha en yt- och kolloidkemisk inriktning, vilket ofta handlar om fysikalisk-kemiska studier av ytaktiva ämnen i lösning och vid gränssytor. Ett annat viktigt delområde är heterogenfaskatalys, vilket täcker in ett brett spektrum av tillämpningar. Däribland har miljörelaterade insatser vuxit i betydelse under senare år. Som exempel på det senare kan nämnas avgaskatalys för fordon, industriell emissionskatalys och olika typer av katalytisk vattenrening.

## Höga krav

Pappers- och massaforskning är ett annat delområde inom kemitekniken och detta har av tradition en stark ställning i Sverige. Under senare år har det inom detta forskningsfält skett en tyngdpunktsförskjutning i riktning mot slutanvändarens behov, det vill säga från massa till papper och vidare till tryckning.

Kemitekniken är grunden för den kemirelaterade processindustrins behov. Framställning av kemikalier i industriell skala ställer stora krav på processen. Modern kemiteknik spänner över hela kedjan från modellering av dynamik på en molekylär nivå till kopplingen av reaktioner i tid och rum. Detta gäller traditionella kemiprocesser och, i allt större utsträckning, även processer för bioteknisk produktion.

Transportprocesser, frienergivariationer samt reglerteknisk analys av hur systemet svarar på olika störningar är viktiga delmoment i detta. Man kan identifiera en rad viktiga vetenskapliga frågeställningar: allt från modellering av dynamik på en molekylär nivå till kopplingen av reaktioner i tid och rum, inklusive beaktande av transportprocesser, frienergivariationer och dissipativa fenomen samt reglerteknisk analys av det dynamiska systemets robusthet i förhållande till olika störningar.

En viktig del av kemitekniken är att överföra en framställningsmetod i laboratorieskala till en ekonomiskt och miljömässigt gångbar process i industriell skala. Kemitekniken är av central betydelse inte bara för den rena kemiindustrin utan även för branscher som bioteknik, läkemedel, livsmedel, massa och papper samt mineralanrikning.

Kemiteknisk forskning är ofta nära knuten till miljörelaterad eller energi-relaterad utveckling. En stor del av den forskning som idag bedrivs inom ämnesområdet är styrd av antingen miljö- eller energidrivna frågeställningar eller av bådaddera. Dessa frågeställningar är idag centrala inom samtliga av de ovan

nämnda branscherna och dess betydelse kan förväntas öka ytterligare framöver. Den stora utmaningen att skapa ett bärkraftigt samhälle är en uppgift där kemitekniker, miljöforskare, energiforskare och andra intimt samarbetar.

## Tunt, långt eller poröst

I ett internationellt perspektiv har den svenska forskningen kring ytaktiva ämnens uppträdande i lösning och kring polyelektrolyters växelverkan med fasta ytor varit speciellt slagkraftig. Resultaten av denna forskning har betytt mycket för kunskapsutvecklingen inom läkemedels-, livsmedels- och pappersindustrin.

I framtiden förväntas kemitekniken spela en stor roll för utvecklingen av nanomaterial, det vill säga material uppbyggda av domäner, vars storlek ligger i nanometerområdet. Det kan röra sig om mycket tunna skikt, små partiklar, långa och smala rör eller mikroporösa ämnen. Materialen kan byggas upp med hjälp av yt- och kolloidkemiska principer, till exempel genom att utnyttja självassocierade ytaktiva ämnen som templat. Strukturerna kan på detta sätt skräddarsys med en hög grad av precision.

Det finns idag stora förväntningar på nanomaterial och ämnet är föremål för betydande satsningar såväl i USA som i Europa. I EU:s sjätte ramprogram är det ett prioriterat område. Bland tillämpningarna kan nämnas nanoporösa material för katalys som ökar såväl selektivitet som effektivitet; katalytiskt aktiva nanopartiklar för avgaskatalys och för bränsleceller; nanorör för termoelektriska och elektrooptiska tillämpningar; nya magnetiska material samt responsiva material. Responsiva material ändrar sina egenskaper som en respons på en bestämd yttre påverkan. Inom nanomaterialområdet samverkar kemitekniken med materialvetenskap, fasta tillståndets fysik och andra discipliner.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Sverige starkt inom ytkemi och papper

Sveriges ställning inom kemiteknisk forskning i ett internationellt perspektiv är medelstark. Den empiriskt baserade kemiteknikforskningen, som var dominerande för ett par decennier sedan, har idag i stor utsträckning ersatts av forskning som vilar på en vetenskaplig grund. Till de starkare områdena hör ytkemi samt pappers- och massaforskning.

Dessa två delområden sammanfaller till viss del, eftersom ytkemi är en mycket viktig del av pappersforskningen. Vetenskapsrådet planerar en internationell granskning av kemitekniken som kommer att genomföras under 2004. Den förväntas ge en bra bild av de svenska forskarnas internationella konkurrenskraft.



*Kemiteknisk forskning är ofta nära knuten till miljörelaterad eller energi-relaterad utveckling. Den stora utmaningen att skapa ett bärkraftigt samhälle är en uppgift som kräver ett nära samarbete mellan kemitekniker, miljöforskare, energiforskare och andra.*

Rök och avgaser från industriella processer har föreslagits bli en källa till elektricitet och energi. Genom att utveckla ett filter som separerar svavel och svavelväten från röken kan dessa ämnen användas i en s.k. bränslecell som producerar elektricitet. Grundläggande forskning behövs för att kunna styra filtrets kemiska egenskaper och bränslecellens kemiska processer så att en miljövänlig industrialisering av grön energi blir möjlig. Foto: Björn Malmberg – Pixelfactory

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Ytor i vått och torrt

Inom flera områden, till exempel yt- och kolloidkemi samt katalys, har nya metoder för karaktärisering betytt mycket för områdets utveckling. Ett exempel på teknik som har fått sitt genombrott under det sista decenniet är atomkraftmikroskopi som möjliggör studier av fenomen på fasta ytor i både våta och torra tillstånd. Ett annat exempel är diffusions-NMR som möjliggör studier av partiklar och aggregat i lösning.

Den pågående utvecklingen att följa ytprocesser *in situ* under relativt höga tryck är av mycket stort intresse. Detta gäller till exempel transmissionselektronmikroskopi och sveptunnelmikroskopi. Dessa och flera andra ytanalys tekniker har traditionellt haft den svagheten att de bara har kunnat användas vid högvakuum, vilket har gjort att det har varit vanskligt att överföra de erhållna resultaten till praktiska problemställningar.

Utvecklingen av analysmetodik kommer sannolikt att fortsätta i riktning mot att under realistiska betingelser kunna följa processer på ytor och i bulk *in situ*. Detta är mycket viktigt för kemiteknikutvecklingen, eftersom erhållna resultat på ett mer direkt sätt än idag kan användas för att förbättra processer och produkter.

Nanoteknologi är ett område på stark frammarsch, både i Sverige och i omvärlden. Kemitekniken spelar, som beskrevs ovan, en viktig roll i utvecklingen av detta område.

## STRATEGIER

### Svårt att få pengar till utrustning

Det är tveksamt om ämnesmässigt inriktade prioriteringar ska göras. Den urvalsprincip som finns i dag fungerar väl utan pekpinna utifrån. Om prioritering ändå ska till så är yt- och kolloidkemi, katalys och fasta tillståndets kemi de viktigaste ämnena.

Satsningen på unga forskare bör fortsätta och förstärkas, enligt argumentation nedan. Området medeldyr vetenskaplig utrustning är ett besvärligt kapitel för många forskare idag. Projektbidragen räcker inte till för investeringar och det är svårt att från stiftelser få medel till vardagsnära instrument som kostar kring 100 000 kronor. Många ställen verkar ha nått en smärtgräns då det är instrumentmedel och inte medel för doktorander som är flaskhalsen. Det kan därför vara befogat att avsätta medel för medeldyr vetenskaplig utrustning inom Vetenskapsrådets ram.

### Vissa insatser innebär risker för kvaliteten

Vetenskapsrådet bör in ta stor restriktivitet med insatser för särskilda ämnesområden. Sådana tenderar att sänka den genomsnittliga kvaliteten på de beviljade projekten. Det är givet att Sverige och Europa måste ha politiskt styrda forskningsinsatser, men det finns då andra finansiärer för sådana satsningar, till exempel EU:s ramprogram, VINNOVA, MISTRA, SSF och KK-stiftelsen.

Det är däremot befogat att Vetenskapsrådet fortsätter med riktade satsningar för unga forskare, såväl nyblivna doktorer som ansöker om bidrag till forskarassistentanställning som forskarassistenter och unga lektorer som söker projektmedel.

Då allt mer av forskningsfinansieringen går via organ som VINNOVA, SSF, MISTRA och EU, vilka förutsätter deltagande i breda nätverk, så är det mycket svårt för unga forskare att självständigt få medel. De tvingas förlita sig på handledarens förmåga att komma med i starka grupperingar. Detta är inte bra för den unga forskarens utveckling till en självständig forskare och det är kanske inte alltid så stimulerande.

En duktig seniorforskare har ofta utarbetade samarbetskanaler som möjliggör medverkan i både nationella och internationella nätverk. Dessutom kan han/hon ofta utnyttja genom åren utarbetade kontakter med industrin. Den unga forskaren saknar både nätverken och industrikontakterna. Det är därför extra viktigt att Vetenskapsrådet värnar om unga forskare och att den pott som avsätts till denna kategori är relativt stor. Den behöver vara större än vad den är idag.



# Halvledarfysik, elektronik, elektroteknik och fotonik

## BEDÖMNING

- ▶ Utvecklingen går mot mindre dimensioner, högre hastigheter, nya material, nya och kraftfullare beräkningsmöjligheter och nya fysikaliska fenomen. Utforskningen och tillämpningen av kvanteffekter och kvantfenomen får allt större betydelse.
- ▶ Av de områden SSF har stöttat genom strategiska forskningscentra har Sverige behållit en, i förhållande till sin storlek, stark ställning. Ämnesområdet har emellertid lidit av svängningar i den ekonomiska konjunkturen.
- ▶ Forskningen inom detta område har applikationer mot flera industrisektorer och är starkt beroende av fungerande infrastruktur med tillgång till avancerad syntes, process och karaktäriseringsutrustning. Forskningen kräver tillgång till renrumslaboratorier.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Veteranen komponentfysik är stark

Forskningen inom detta komplexa ämnesområde kan i huvudsak indelas i tre undergrupper: komponentfysik, kvantinformation samt tele- och datakommunikation. Fortfarande är forskningen inom det traditionella området komponentfysik omfattande. Nära hälften av de inkomna ansökningarna hör till detta område och rör grundläggande forskning om design och material inom halvledarkomponenter. Området har dock fått stödet neddraget under de senaste åren på grund av att nyare områden, till exempel kvantinformation, har fått mer.

Inom delområdet kvantinformation sker forskning inom i stort sett två inriktningar: kvantinformationsteknik och kvantkomponenter. Kvantinformationsteknik kan beskrivas som en fusion av ämnena kvantmekanik, optik,

elektronik och datavetenskap och innebär till exempel forskning inom kvantkryptering och kvantoptik med en eventuell tillämpning i kvantdatorn. Inom kvantkomponenter går forskningen mot att ytterligare miniaturisera elektronikkomponenter till nanoelektronik och mot spinnelektronik, som i grunden vilar på en kvantmekanisk logik i stället för de vanliga ettorna och nollorna. Här är tillämpningarna till exempel högre lagringstäthet för minnen.

Det tredje delområdet, tele- och datakommunikation, består typiskt av forskning inom fotonik och elektroniksystem samt höghastighetselektronik och styrbara antenner.

Det är svårt att peka ut avgörande enskilda insatser från svenska forskare eftersom utvecklingen drivs i många små steg. Dock har det gjorts svenska insatser inom fotonik, supraleddarelektronik och integrerad kretselektronik som har fått stor internationell betydelse både forskningsmässigt och i form av tillämpningar. Det gäller särskilt den svenska kiselkarbidforskningen.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Snabbare och bredare forskning utomlands

Svensk akademisk forskning inom ämnesområdet måste anses stå ganska stark i relation till landets bruttonationalprodukt. Dock har den internationella utvecklingen totalt sett under den senaste tioårsperioden varit snabbare och framförallt bredare än i Sverige.

Bland de starka delområdena finns millimetersvågselektronik, fotonik och nano/supraleddarelektronik samt utan tvekan SiC-material och elektronik. Kiselkarbidforskningen har växt sig stark under denna period och är världsledande. Med tanke på den stora forskningssatsning inom detta område i världen är det svårt att gå från noll till frontlinjen. Den starka forskning Sverige har haft och som hittills har fått uthålligt stöd på en rimlig nivå har klarat att hela tiden ligga i frontlinjen.

Magnetiska strukturer har varit ett relativt litet akademiskt område. I Sverige sker en förstärkning av området magnetiska strukturer genom framväxandet av ett antal framstående nya forskargrupper. Internationellt är forskningen intensiv inom bredbandgapiga halvledare. Här förväntas den svenska utvecklingen vara stark.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Halvledare lyser upp tillvaron

Utvecklingen går mot mindre dimensioner, högre hastigheter, nya material, nya och kraftfullare beräkningsmöjligheter och nya fysikaliska fenomen. Vidare ser vi en utveckling mot samexistens av elektronik och optik i kretsarna. Utvecklingen mot mindre dimensioner betyder att vi går mot kvanteffekter även i ”vanliga” komponenter. Vi närmar oss snabbt den punkt då den utveckling av klassisk elektronik som har präglats de senaste fyrtio åren inte längre kan fortsätta av fundamentala skäl. Redan idag börjar stora kommersiella aktörer som Intel, HP, Toshiba, NEC, Fujitsu och Hitachi att spendera stora forskningsresurser på kvantkomponenter. Vägen dit är dock lång, osäker och besvärlig.

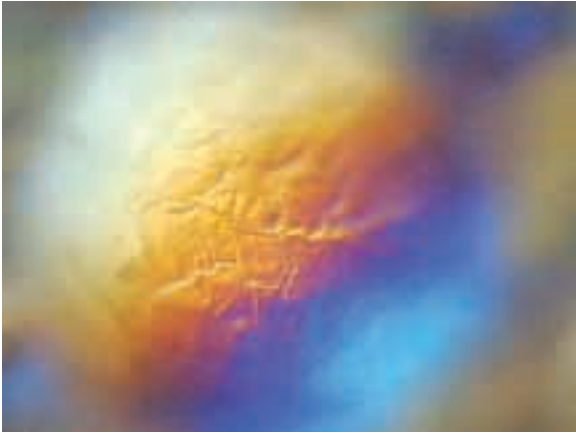
Forskningen intensifieras kring nya material, såsom exotiska halvledare och inkorporering av diamant i halvledarkretsar. Magnetiska material är likaså de föremål för en intensiv internationell forskning. Olika laserbaserade system och instrument krymper snabbt i storlek och blir billigare och lättare att handha eftersom lasrar i allt högre utsträckning baseras på fasta material som halvledare eller dopat glas. Ytterligare en trend är att halvledare kommer att ta över en allt större del av belysningen. Redan idag ser vi lysdioder istället för glödlampor i billjus, trafikljus och i ficklampor. Snart kommer vi att ha hållbara och energieffektiva ljuskällor i hem och i industri som är baserade på lysdioder av halvledare eller polymerer.

## STRATEGIER

### Många unga ökar trycket

Vetenskapsrådets strategi bör vara att i möjligaste mån satsa pengarna på den bästa forskningen, oavsett inriktning. Få yrkeskategorier är så snabba att ta till sig nya kunskaper, metoder och problem som forskare.

Området har varit och är starkt växande. En konsekvens är att forskar-demografien är speciell, med många yngre forskare och få äldre. Detta kommer att leda till att trycket på att få fram mellantjänster ökar om ett fåtal år. Till skillnad från många andra områden kommer ingen dramatisk ökning av pensionsavgångar ske under den närmaste tioårsperioden. En ökning av stödet till rådsforskaranställningar och lektorat är befogad.



*Utvecklingen går mot mindre dimensioner, högre hastigheter, nya material, nya och kraftfullare beräkningsmöjligheter och nya fysikaliska fenomen. Utforskningen och tillämpningen av kvanteffekter och kvantfenomen får allt större betydelse.*

Moderna datorer med ökande kapacitet och allt mindre storlek närmar sig gränsen för vad som är möjligt med dagens teknik. Elektroniken i datorerna baseras på elektrisk laddning. Framtidens datorer kan istället komma att baseras på elektroners så kallade spinn. Spinn är intimt förknippat med materialets magnetiska egenskaper och området som nu börjar växa fram kallas spinntronik istället för elektronik. Visionerna om framtidens datorer är hisnande med datorer som blir en miljard gånger snabbare än dagens. För detta krävs nya material och forskningen står inför svåra utmaningar. Bilden visar en yta av kiselkarbid där man kan utnyttja spinnegenskaperna vid mycket kall temperatur. Ojämnheter i ytan orsakar färgerna i bilden. Ytterligare forskning förväntas ge mer homogena ytor med så kallad magnetisk respons även utan en extrem nedkylning. Foto: Mikael Syväjärvi

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Beroende av renrum

Halvledarforskningen i Sverige är beroende av renrum/mikroelektroniklaboratorier. Dessa är dyra att driva och att kontinuerligt uppgradera. Stödet till mikroelektroniklaboratorierna har minskat under en följd av år och nu är satsningen under den kritiska gränsen. Vetenskapsrådet kommer inte att klara av att lösa detta problem på egen hand. De olika forskningsfinansiärerna, inte minst VINNOVA, och högskolorna måste hitta en samförståndslösning. Just nu håller denna forskning på att avrustas i brist på medel. Detta är ett stort, och mycket verkligt, hot.

Av de områden SSF har stöttat genom strategiska forskningscentra har Sverige behållit en, i förhållande till sin storlek, stark ställning. Inom de områden som SSF inte har satsat har utvecklingen i Sverige, relativt sett, backat. SSF:s satsningar har varit cirka 300 miljoner kronor årligen inom mikroelektronik och materialvetenskap. Av detta har två tredjedelar, eller 200 miljoner kronor, givits till grupper som verkar inom det här beskrivna ämnesområdet. Detta ska jämföras med Vetenskapsrådets bidrag som har varit cirka 30 miljoner per år.

Ämnesområdet har emellertid också lidit av SSF:s svängningar i finansieringen. Ett system där mer än hälften av forskningsinsatsen görs av doktorander som genomlöper systemet på minimalt fyra till fem år ger forskargrupperna stora problem att parera svängningar som är av storleksordningen 40 procent av forskningsbudgeten på ett par år. Just nu spills för mycket god forskartid på att hitta finansiella nödlösningar. Staten måste återta sin roll från stiftelserna som huvudfinansiär.

Svenska forskare hör till de världsledande inom kiselkarbidforskningen. Både SSF och ABB har nu bestämt sig för att kraftigt reducera anslagen till denna forskning, enbart av det skälet att det kommersiella genombrottet för materialet i högspänningstillämpningar förefaller ligga längre fram i tiden än vad som förväntades av ABB. Detta kommer att leda till att Sverige förlorar sin ledande ställning inom området.

# Teknisk fysik

## BEDÖMNING

- ▶ Området teknisk fysik innefattar grundläggande fysikforskning som uttalat syftar till att möjliggöra och underlätta viss teknisk utveckling och området spelar därigenom en central roll inom flera olika forskningsområden.
- ▶ Forskning inom teknisk fysik är viktig för utvecklingen inom bland annat informationsteknik, moderna material, biosensorer, förbränningsteknik, miljöövervakning, medicinsk diagnostik och terapi samt energiteknik.
- ▶ Området instrumentutveckling och mätteknik, som traditionellt är starkt i Sverige, kräver för fortsatt framskjuten ställning särskilda prioriteringar, bland annat i fråga om infrastruktur och experimentutrustning.
- ▶ Det är särskilt angeläget att stimulera samverkan mellan teoretisk simulering, karaktäristik och syntes inom forskning för utveckling av nya material.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Med syfte att underlätta teknisk utveckling

Teknisk fysik har inte alltid helt lätt och entydigt låtit sig definieras; ibland har området uppfattats som i första hand tillämpad fysik. Det kan vara mer lämpligt att betrakta ämnet som grundläggande fysikforskning som uttalat syftar till att möjliggöra och underlätta viss teknisk utveckling. Den tekniska fysiken kräver solid grundläggande fysikkunskap och är stimulerad av definierade behov inom teknik och vetenskap. Den tekniska fysiken spelar en central roll för teknisk och vetenskaplig utveckling på ett sätt som skiljer den från andra discipliner.

Det är därför inte konstigt att vi har detta ämne, men inte till exempel teknisk kemi och teknisk biologi, representerat i Vetenskapsrådets beredningsorganisation.

Teknisk fysik sammanfattar fysikforskning som utövas med syfte att möjliggöra tekniska framsteg på ett brett sätt. Därför är det vanskligt att alltför snävt definiera området i termer av olika delområden av fysiken. Främst företrädda är emellertid fysikområden där tekniska tillämpningar finns: materialteknik, bioteknik, kemiteknik, informationsteknik, medicinteknik, energiteknik, miljöteknik samt mätteknik och instrumentering.

## Förstå strukturerna

Ämnet representerar grundläggande fysikforskning med specifik inriktning mot en viss teknisk tillämpning. Det kan ofta vara grundläggande studier av artificiella, av människan skapade system. Forskningen går inte sällan ut på att i detalj förstå struktur och funktion hos sådana system, vid sidan av studiet av naturliga system. Den egentliga skillnaden mellan denna forskning och ren grundforskning består då endast i vilka system man väljer att studera och i vad som motiverar valet. Formen och innehållet i forskning av det ena eller andra slaget behöver inte skilja sig åt nämnvärt, och det är heller ingen väsentlig skillnad ifråga om de kunskaper och färdigheter man behöver som forskare i den ena eller andra kategorin. Det är för övrigt intressant att notera att en icke föraktlig del av den Nobelprisbelönade fysikforskningen under det senaste halvsekle skulle kunna hänföras till området teknisk fysik. Till exempel gick 2002 års Nobelpris till Davies och Koshiba för utvecklingen av metoder för att detektera neutriner från rymden och till Giacconi för detektering av röntgenstrålning från rymden.

Exempel på forskning inom teknisk fysik är grundläggande studier inom datakommunikation, förbränningsteknik, miljöövervakning, komponentmaterial, biosensorer, mikroskopi, medicinsk diagnostik och terapi samt energiteknik. Experimentell forskning dominerar, men även rent teoretiska forskningsprojekt är vanliga. De nya möjligheter till avancerade simuleringar som den moderna datortekniken erbjuder gör att beräkningsstudier får allt större betydelse också för den tekniskt inriktade grundforskningen.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Metod- och experimentutveckling centrala

Inom teknisk fysik har områdena bioteknik, materialfysik med karaktäristik, medicinsk fysik och miljöfysik en särskilt framskjuten internationell ställning.

Särskilt stark utveckling finns inom biosensorfysik liksom inom tunnfilmssyntes och karakterisering av material. Förbränningsfysiken utvecklar också sin framskjutna position liksom området displayteknik. Den medicinska fysiken har genom framgång delvis skapat sig en egen plattform inom Vetenskapsrådets beredningsorganisation.

Bland områden med en förhållandevis svagare ställning, om än med vissa undantag, återfinns grundläggande teknikforskning inom magnetiska material, där betydande internationella genombrott har skett under det senaste decenniet. Ett annat område med risk för en försvagad ställning är metod- och instrumentutveckling. Försämrade experimentella möjligheter och bristande infrastruktur, liksom vikande tillgång till lämpliga forskarstuderande kan leda till att detta område tappar sin traditionellt starka ställning. Detta kan i sin tur leda till allvarliga konsekvenser för annan forskning, eftersom vi vet av erfarenhet att framgångsrik metod- och instrumentutveckling lett till framgångsrik forskning.

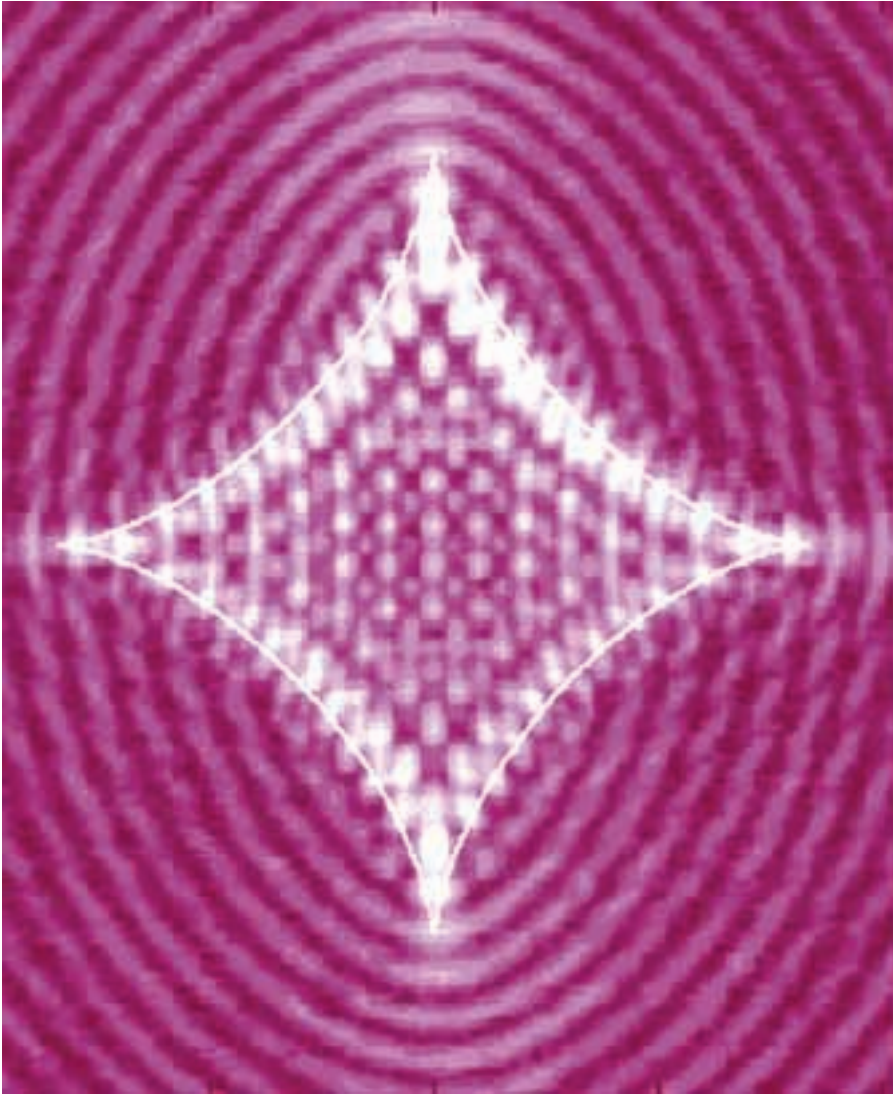
## Stark vid högskolorna

Den tekniska fysiken har haft en mycket stark ställning i Sverige. Välbekant är den tekniska fysikens ställning vid de tekniska högskolorna och den betydelse denna utbildning haft för den svenska industrins utveckling. Experimentell naturvetenskaplig forskning med tonvikt på instrument och mätmetoder har varit något av ett kännetecken för svensk forskning, vilket bland annat illustreras av att flertalet svenska Nobelpristagare inom naturvetenskap har tillhört kategorin instrument- och metodutvecklare. Kai Siegbahn till exempel fick Nobelpriset i fysik 1981 för elektron-spektroskopi och han gjorde stora insatser inom just instrument- och metodutveckling.

Den tekniska fysiken har även idag en stark ställning i Sverige, men det finns oroande tendenser till sämre utvecklingsmöjligheter i framtiden. En bidragande orsak är områdets stora behov av infrastruktur och experimentell utrustning.

Exempel på grundforskning som har haft betydande inverkan på den tekniska utvecklingen är inom området displayteknik (flytande kristaller, främst i Göteborg), om än möjligen inte i önskad utsträckning för den svenska industrin. Utvecklingen av elektron- och röntgenspektroskopiska metoder och instrument (främst i Uppsala) för grundforskningsbehov har haft stor inverkan på teknisk och vetenskaplig utveckling internationellt. Forskningen inom laserfysik, främst i Lund, har lämnat tydliga avtryck inom miljöforskning och medicinsk teknik.





*Området teknisk fysik innefattar grundläggande fysikforskning som uttalat syftar till att möjliggöra och underlätta viss teknisk utveckling och området spelar därigenom en central roll inom flera olika forskningsområden.*

Även om ögonen och vår hjärna kan tolka två av ljusets egenskaper – ljusstyrka och färg – finns det fler egenskaper som vi inte uppfattar. Med tekniskens hjälp finns dock alla möjligheter att utnyttja t.ex. ljusets polarisation som informationsbärare. Färska forskningsresultat antyder nya detaljer i polarisation hos ljuset som är föremål för debatt och oenighet mellan forskare. Bilden visar ett mönster som kan uppstå när olika ljusstrålar samverkar för att i en punkt släcka ut och i en annan förstärka varandra. Med liknande experiment kan ljusets polarisation undersökas. Bild: Ari Friberg

## Tvärvetenskapens fallgrop

Ett viktigt utvecklingsdrag och en viktig framgångsformel är blandningen av expertis från olika områden utan att drabbas av tvärvetenskapens fallgrop: att kunna för lite om väldigt mycket. Alltför insatser tillgång till högklassig instrumentering och infrastruktur är nödvändig för en god utveckling. Områden med stark utveckling är bland annat ordnade funktionella mikrostrukturer för tillämpning i biosensorer, i kemiska processer, för speciella materialegenskaper, för mät- och karaktäriseringsmetoder samt för datasimuleringar av egenskaper och processer.

Inom materialfysiken sker utvecklingar med stor teknisk relevans. Magnetism är ett område där förväntningarna är stora i fråga om tekniska tillämpningar. För detta krävs omfattande forskningsinsatser med sikte på teknikutveckling. Som ett exempel kan nämnas upptäckten av ett extremt stort magnetfältsberoende hos elektrisk ledningsförmåga i speciella material och strukturer (GMR och CMR). Relaterat till denna upptäckt knyts idag förhoppningar om utveckling av ett nytt slags elektronik där styrningsmekanismen baseras på elektronens spin snarare än dess laddning, så kallad spintronik.

Här krävs en kombination av stora kunskaper inom materialsyntes och karaktärisering, liksom också inom beräkningsfysik, för att kunna ge väsentliga bidrag till utvecklingen. Detta gäller även andra inriktningar inom materialfysiken, som till exempel ytbeläggningsteknik och framställning av artificiella nanostrukturer. Forskning på absolut toppnivå inom olika områden som dessa är så krävande att stor specialitet måste utvecklas. Åtgärder som stimulerar samverkan mellan sådana specialiteter kan därför bli särskilt verkningsfulla.

## Smarta fönster

Material med egenskaper som kan modifieras genom externa stimuli tilldrar sig allt större intresse. Smarta fönster som förändrar genomsläppet av ljus är ett exempel med många tillämpningar och inom området finns flera aktiva svenska forskare.

Ytor som kan modifieras med avseende på kemiska egenskaper, såsom affinitet för vatten, är ett annat exempel som förväntas kunna användas inom farmaceutisk terapi eller bioseparation. Andra utvecklingar inom materialsyntes gäller polymerer med speciella egenskaper, som till exempel med en minnesfunktion som möjliggör intressanta tillämpningar inom medicinen.

Försök att på syntetisk väg efterhärma naturen i fråga om att tillvarata solens strålning är föremål för intensiv forskning. Man letar sålunda efter mo-

lektyler som kan fungera som konstgjorda löv, och man försöker bland annat framställa föreningar som med hjälp av katalysatorer och solljus frigör vätgas. Ur denna kan sedan energi frigöras utan att ge andra restprodukter än vatten. Omfattande forskning pågår också för att finna mer naturliga sätt att inducera kemiska reaktioner för tillämpningar inom processindustri, där många subtila reaktionssteg ofta ingår. Detta forskningsområde kommer troligen att vara företrätt på olika sätt i framtidens forskningsprojekt inom teknisk fysik.

Förbränningsforskning är ett område inom teknisk fysik med stark koppling till energi och miljö. En mycket stor del av den energi vi använder för uppvärmning och transporter kommer från förbränning av fossila bränslen. Negativa miljöeffekter och begränsad tillgång till dessa bränslen i framtiden motiverar därför starkt att vi söker vägar att effektivisera förbränningen och minimera skadlig miljöpåverkan.

Inom områdena informations- och kommunikationsteknik finns anledning att tro att forskning inom teknisk fysik kan få fortsatt stor betydelse. Ett av de delområden som idag är väl företrätt är displayteknik baserad på flytande kristaller. Här såväl som inom många andra områden är nanotekniken betydelsefull och i framtiden kan också andra tekniker komma att utnyttjas för displayer. Ett exempel är kvantprickbaserade organiska ljuskällor. Man förutspår att redan inom några år kan elektroniskt papper produceras på ett sätt som påminner om konventionell pappersframställning, med möjlighet till rationalitet och låga kostnader. Det finns ingen anledning att tro att efterfrågan på fortsatt utveckling kommer att avta.

## Ljus fångar DNA

Medicinsk teknik har en lång tradition inom svensk forskning inom teknisk fysik och bioteknik tar en ökande plats. Även här finns en intressant utveckling som baseras på mikrofabrikation och nanoteknik. Man arbetar idag bland annat med att utveckla analysutrustning som med användande av kvantprickljudskällor optiskt registrerar en DNA-sekvens som passerar förbi i en nanofluidkanal.

Andra projekt utvecklar fysikaliska metoder för att snabbt och med stor känslighet detektera kemiska reaktioner mellan biomolekyler, som vid en infektion. Det finns anledning att tro att utvecklingen av biotekniken och den medicinska tekniken intensifieras allteftersom nanotekniken utvecklas.

Kvantdatorer, om än ofta omtalade, befinner sig ännu på ett tidigt stadium där man studerar konceptuella frågor och bara inledningsvis projekterar annat än mycket grundläggande fysikaliska experiment. Emellertid har man nått vissa framgångar inom delområden som kvantkryptering, och det är högst sannolikt

att utvecklingen på detta område kommer att intensifieras i framtiden. Studier inom grundläggande teknisk fysik (informationsfysik) kan växa i den nära framtiden.

## STRATEGIER

### Stora anläggningar av stor betydelse

Områden och aspekter som särskilt bör beaktas är utveckling av metoder och instrumentering för teknisk och grundvetenskaplig forskning, samverkan mellan simulering, karaktäristik och syntes inom forskning för utveckling av nya material, liksom förbättring av infrastruktur. I ett läge med starkt begränsade resurser bör riktade insatser göras mot områden med de främsta forskarna.

Större anläggningar är av stor betydelse för forskningen inom teknisk fysik. Synkrotronljus, större laserfaciliteter och avancerade elektronmikroskop är exempel där nationella satsningar kan vara betydelsefulla.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Åtgärda strukturproblem

Framgångsrik metod- och experimentutveckling leder till framgångsrik forskning. De försämrade möjligheterna till högklassiga experiment, den bristande infrastrukturen och en vikande mängd lämpliga forskarstuderande kan leda till att utvecklingen av metoder och experiment tappar sin traditionellt starka ställning. Risken är att detta leder till allvarliga konsekvenser för annan forskning. Bristen på medel för utrustning och infrastruktur är ett stort strukturproblem.

Det är av vikt att tvärvetenskapliga projekt kombinerar djupa kunskaper med bredd så att inte bredden sker på bekostnad av djupet. För forskning på toppnivå, till exempel inom materialfysiken, behövs åtgärder för att stimulera samverkan mellan djupa specialiteter.

# Materialvetenskap

## BEDÖMNING

- ▶ Området materialvetenskap omfattar grundläggande studier av material och materials egenskaper. Forskningen har kontakter mot fysik, kemi och numera även geologi och biologi. Viktiga och forskningsintensiva materialområden är keramer, halvledare, metaller och legeringar samt polymerer och fiber-material.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Material med nytta i vardagen

Modern materialforskning avser att öka förståelsen på atomär nivå om egenskaper hos material som vi använder oss av i vårt dagliga liv. Forskningen avser också att ta fram nya typer av material med bättre eller andra egenskaper än vad dagens material erbjuder. En viktig utveckling ligger här i nanostrukturella material. I dessa är materien uppbyggd med enheter som endast är några molekyler stora. När de fysikaliska dimensionerna blir mindre tvingas elektronerna att röra sig i andra banor.

Detta medför att materialets egenskaper ändras, en ledare kan bli en isolator eller tvärtom. Ett kemiskt passivt material kan bli en katalysator och därigenom bidra till en bättre energiförsörjning och till att minska bilavgaserna i storstädernas centrum. För att kunna på ett kontrollerbart sätt utföra och senare reproducera sina experiment behöver materialforskaren ha tillgång till avancerade och moderna instrument som klarar att följa strukturen och den kemiska sammansättningen på atomär och molekylär nivå. Exempel på dessa är elektron- och sveptunnelmikroskop, synkrotronljusbaserad diffraktion och spektroskopi samt kortpuls-laser.

## Bygger upp Internet

Parallellt med utvecklingen mot nanomaterial arbetar forskare med att framställa nya material genom att atomära lager växer på varandra. Denna typ av material har varit en förutsättning för utvecklingen av den laserteknik som är grunden till Internet. För att dessa strukturer ska bli verklighet måste även forskarna kunna kontrollera diffusion och föroreningar med en noggrannhet av cirka en på tusen miljoner.

Dessutom pågår forskning mot så kallade multifunktionella material och materialkombinationer. Med detta menas att materialet har flera egenskaper som att vara magnetiskt, katalytiskt, elektriskt, med mera. Detta används bland annat i sensorer och i så kallade intelligenta material. Ett exempel är att bygga in en funktion så att svarvstål känner av när det är utnött och behöver bytas.

En annan viktig forskningsgren inom materialforskning är biomimetiken, det vill säga konstruktion av material på liknande sätt som i naturen. Mest känt är förmodligen utveckling av baddräkter med en struktur som hajskinn som nu används av de flesta elitsimmare. Ett annat exempel är tråd med struktur som spindelväv.

Materialforskningen är till stor del en experimentell vetenskap. Dock har utvecklingen av moderna datorer gjort att materialegenskaper numera med mycket god precision kan förutsägas via teoretiska beräkningar och/eller simuleringar. Denna teoretiska materialforskning är mycket viktig eftersom den minskar kör- och testtiden i synteslaboratorierna.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Svenskt stål håller fortfarande

Sverige har av tradition haft en stark ställning inom materialforskningen. Väl känt är den svenska stål- och metallforskningen som har en lång historia och där svenskt stål är ett internationellt kvalitetsbegrepp. Även svensk halvledarforskning är internationellt framgångsrik och uppmärksammas. Exempel på framstående delområden inom detta mycket stora forskningsfält är kiselkarbid och optiska halvledare.

En stor anledning till att Sverige har utvecklat framstående halvledarforskning är de riktade statliga satsningarna på detta område som gjordes under 1980-talet. Genom dessa lades grunden och senare satsningar har kunnat använda sig av den kompetens som då byggdes upp.

Såväl metall- som halvledarforskningen har dessutom kunnat arbeta med internationellt starka svenska industrier, vilket har medfört och medför att forsk-

ningsresultaten förs ut i samhället och ger upphov till såväl nyetableringar av företag och tekniker som nya arbeten. Ett annat viktigt forskningsområde inom svensk materialvetenskap är fiber och polymermaterial. Även inom detta delområde intar svenska forskare en internationell tätposition. Andra svenska styrkeområden omfattar tunnfilmssyntes och materialkaraktärisering såsom ytanalys och mikroskopi.

## Teorin visar styrka

Teoretisk materialvetenskap är ytterligare ett svenskt styrkeområde. Ett exempel är de termodynamiska modellerna "Thermo calc" som lett till företagsetablering och används inom såväl svensk som internationell industri. Dessutom har beräkningar baserade på densitetsfunktionalteori tillsammans med avancerade simuleringar möjliggjort mycket noggranna förutsägelser av egenskaper hos material.

Bland områdena med en något mindre framträdande ställning finns magnetiska material. Inom detta fält har dock SSF nyligen gjort en satsning, men med tanke på områdets stora betydelse och snabba expansion är ytterligare satsningar nödvändiga. Vidare behövs förstärkningar inom syntes av keramer. Detta område är av stor vikt såväl vetenskapligt som tekniskt, men får idag ett begränsat stöd.

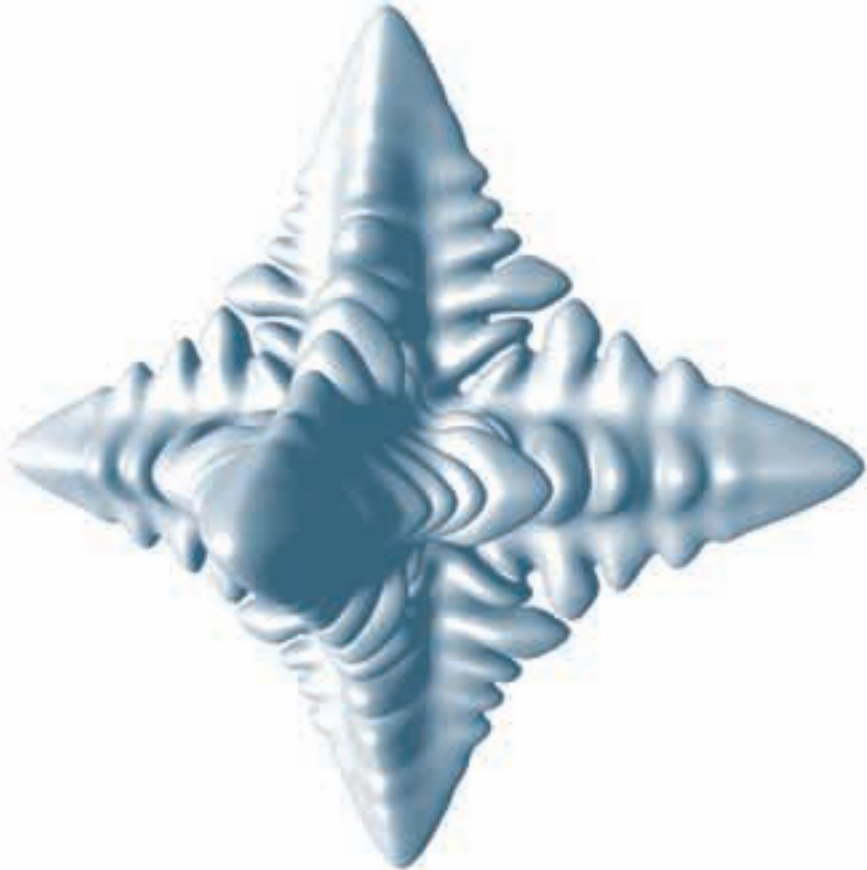
## UTVECKLINGSTENDENSER

### Materialvetenskap satsar på tvären

Forskningen inom materialvetenskap får allt tydligare karaktären av tvärvetenskap. Kemister, fysiker, tekniska materialvetare och biologer arbetar i team. Detta medför att det ställs stora krav på infrastrukturen runt forskningen och tillgången till förstklassig instrumentering. Ett exempel på tvärvetenskaplig materialutveckling såväl nationellt som internationellt är funktionalitet och multifunktionalitet.

En avgörande orsak till denna utveckling är de framsteg som görs på syntesidan. Här bidrar numera flera olika vetenskaper med sitt kunnande. Dessutom behövs kompetens inom flera experimentella tekniker för att kunna verifiera resultaten. Utvecklingen mot multifunktionalitet gäller inom flera olika typer av materialklasser, som keramer, polymerer, och halvledare.

Den pågående utvecklingen mot nanostrukturella material kommer att fortsätta. Internationellt blir denna trend allt starkare och användningsområdet för nanostrukturella material växer kontinuerligt. Satsningen på nanostrukturer är även ett huvudområde för EU:s nya ramprogram. Exempel på viktiga an-



*Området materialvetenskap omfattar grundläggande studier av material och materials egenskaper. Forskningen har kontaktytor mot fysik, kemi och numera även geologi och biologi.*

Polymerer är kedjeformade molekyler som vanligen framställs av kolbaserade ämnen. Plast är ett exempel. En polymers egenskaper styrs mycket av vilka molekyler som placeras i kedjans två ändar. Mycket forskning inom materialvetenskap pågår för att skapa nya material där form och funktion kan styras genom att välja lämpliga ändmolekyler. Med speciella polymerer som byggestenar kan formen på molekylnivå styras så att det t.ex. blir som på bilden, vilken visar en beräknad form hos ett sådant material. Här tänker man sig att polymerer byggs upp kring en molekyl i mitten. Om istället en hel polymerkedja får utgöra kärnan blir formen en cylinder i nanometerstorlek (miljondels millimeter). Med lämpliga ändmolekyler kan cylindrarna göras flexibla eller styva, och ges unika ytfunktioner och egenskaper. Bild: Gustav Ambjörn



vändningsområden för nanomaterial omfattar allt från laserutveckling till höghållfasta konstruktionsmaterial och lågfriktionsmaterial. Kopplat till detta är även utvecklingen inom biomimetik. Denna utveckling har bara börjat och speciellt kan en närmare koppling mellan materialforskare och biologer ge mycket intressanta resultat.

## Miljö för framtiden

En viktig trend inom materialforskningen ligger också inom energi och miljö. Utvecklingen inom samhället ställer stora miljökrav på materialen när det gäller nedbrytbarhet och gifthinnehåll. Detta kräver stora forskningsinsatser för att i framtiden realisera miljövänligt nedbrytbara polymerer och elektronik.

Utvecklingen av nya katalysatormaterial är en annan viktig trend. I detta fall kommer utvecklingen inom nanotekniken att vara av avgörande betydelse. Materialforskningen är också en viktig del inom energiforskningen, dels för generering av energi med solceller, dels genom utvecklingen av smarta fönster och ny energibesparande elektronik. Ett exempel på det senare är utvecklingen av SiC-baserad kraftelektronik. Ytterligare exempel är utvecklingen av vätgaslagrande material för ett samhälle baserat på väte som energibärare. Utvecklingen av mera komplexa material kommer att ställa krav på bättre och mer avancerad karaktäriseringsutrustning. Exempel på detta kommer att vara att komplettera dagens laboriebaserade röntgenundersökningar med högupplösta synkrotronljusmätningar. Denna utveckling har redan ägt rum inom biologin, där proteinkristallograferna nu är en av de största användargrupperna. Vidare kommer utvecklingen att kräva tillgång på högupplösande mikroskopi, såväl av TEM-som av STM-typ. Dessa faciliteter kommer att i allt större utsträckning vara användarbaserade, vilket kräver större teknisk support än vad som idag är brukligt.

Med den pågående utvecklingen mot snabbare och mera kraftfulla datorer kommer utvecklingen mot teoretiska beräkningar och simuleringar att fortsätta med oförminskad styrka. Redan idag kan egenskaper hos relativt komplexa material beräknas med god precision. Inom ett decennium kommer även de mest komplexa materialkombinationernas egenskaper att kunna simuleras teoretiskt.

## STRATEGIER

### Stärk materialområdet för industrin

Materialområdet behöver stärkas i Sverige. Forskningen ligger till grund för en betydande del av den svenska industrin och teknologin. Internationellt är om-

rådet högprioriterat såväl inom EU som i USA: Det är särskilt viktigt att stärka syntesverksamheten. Utvecklingen av högkvalitativa syntesmetoder är viktig även för forskningen inom kondenserade materiens fysik, elektronik och kemi.

Satsningar mot starka experimentella miljöer blir viktiga eftersom infrastrukturen inom materialforskningen idag hotas. Exempel på sådana miljöer är renrumslaboratorierna som kommer att vara viktiga för framtagning av nanomaterial, utvecklingen av kvantdatorer och morgondagens elektronik. Ytterligare exempel är nationella fysiklaboratorier: acceleratorer för joninplantation, synkrotronljuslaboratorier och nationella elektronmikroskopicentra. Dessa är viktiga komponenter för utvecklingen av material. Det är också av största vikt att Vetenskapsrådet fortsätter stödet till synkrotronljusforskningen. Följande satsningar är viktiga:

- Synkrotronljuslaboratorier
- Renrum och synteslaboratorier
- Infrastrukturen runt elektronmikroskop
- Neutronspridning och då speciellt om Sverige skulle erhålla den europeiska spallationskällan ESS

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Experiment kräver laboratorier

Som påpekats ovan är materialforskning till stor del en experimentell vetenskap. Modern materialforskning är därför beroende av tillgång till avancerad laboratorieutrustning. De senaste årens nedskärningar i utrustningsbudgetar inom anslagsbeviljande myndigheter och stiftelser i kombination med universitetens alltmer ansträngda ekonomiska situation hotar infrastrukturen inom materialforskningen. Om denna utveckling fortsätter under ytterligare några år hotas kvaliteten även inom svenska styrkeområden. Vidare är materialforskningen av tvärvetenskaplig natur, där tekniker, fysiker och kemister ofta arbetar i team, vilket medför att olika organisationer måste ha en gemensam syn på finansieringen av forskningen.

# Medicinsk teknik

## BEDÖMNING

- ▶ Antalet svenska innovationer inom medicinsk teknik i samarbete mellan tekniska och medicinska innovatörer/forskare är stort.
- ▶ Vävnadsteknik är ett område på frammarsch där forskningen i Sverige har potential att ge ett signifikant bidrag. Det finns viss verksamhet inom området, men den är idag begränsad och i initialskedet.
- ▶ Samverkan mellan medicin, biologi, kemi och fysik måste förstärkas. Det är viktigt med direkta samarbetsprojekt eftersom barriärer mellan disciplinerna hindrar framsteg.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Från dialys till ultraljud

Forskningen inom medicinsk teknik utmärks av att den kombinerar kompetens inom både tekniska och medicinska forskningsområden. Inom medicinsk teknik finner vi bland annat:

- Biomaterial och artificiella organ
- Biosensorteknik
- Biooptik
- Ultraljudsteknik
- Biomekanik
- Fysiologisk mätteknik och modellering
- Medicinsk bild- och signalbehandling
- Medicinsk informatik
- Strålningsfysik

- Talteknik och teknisk audiologi
- Terapeutisk teknik och handikaphjälpmiddel

Mätteknik och informationsteknik är andra signifikanta områden. En del av dessa faller inom medicinsk teknik.

## Svenska innovationer

Listan på svenska innovationer inom medicinsk teknik i samarbete mellan tekniska och medicinska innovatörer och forskare kan göras lång:

- Avdunstning (Servomed)
- Bildbehandling (Sectra, Context Vision)
- Dialys (Gambro, Althin-Baxter)
- EKG-skrivare, angiografi (Siemens-Elema)
- Fiberoptisk andningsövervakning (Optovent)
- Hypertermibehandling (Prosta Lund)
- Intensivvårdsinstrument (Datex-Engström)
- Kontrastmedel (Nycomed-Amersham)
- Laser Doppler Imager (Lisca/Perimed)
- Laserdoppler (Perimed)
- Matstrups-pH
- Urodynamik (Synnectis-Medtronics)
- Pacemaker (Siemens-Elema/Paceseter, numera St Jude Medical)
- PCTA-kranskärlstryck (Radia Medical)
- Respiratorn (Engström, Siemens-Elema)
- Strålkniv (Electa)
- Telemedicin (Ortivus)
- Ultraljud (icke-svenska storföretag, men också Teltec)
- Ytplasmonresonanssensor (Biacore) och öroninstrument (Atos Medical)
- Tandimplantat (Brånemark/Nobel Biocare)

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Satsning etablerade medicinsk teknik

Medicinsk teknik är ett område som har etablerats och vuxit kraftigt i Sverige under de senaste tio åren. En satsning av SSF och TFR betydde mycket för området. Idag bedrivs forskning av hög internationell klass inom delområdena biomaterial och artificiella organ, biosensorteknik, biooptik, ultraljudsteknik, biomekanik, fysiologisk mätteknik och modellering, övrig bildgivande teknik,

medicinsk bild- och signalbehandling, medicinsk informatik, medicinsk strålningsfysik, radiofysik, talteknik och teknisk audiologi, terapeutisk teknik samt handikapphjälpmedel. De områden som har en stark ställning idag och som leder den internationella utvecklingen är strålterapeutisk fysik, dosimetri och nukleärmedicinsk fysik och teknik med strålterapi, bildgivande detektorer, dosimetri och matematiska simuleringsprogram.

Vävnadsteknik är ett område på frammarsch där forskningen i Sverige har potential att ge ett signifikant bidrag. Det finns viss verksamhet på området, men den är begränsad och i initialskedet.

Samverkan mellan medicin, biologi, kemi och fysik måste förstärkas. Det är viktigt med direkta samarbetsprojekt eftersom barriärer mellan disciplinerna idag hindrar framsteg.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Nya behandlingsmetoder på gång

Forskning inom medicinsk teknik förbättrar behandlingsmetoder genom förenig av medicin och teknik och ger nya metoder för diagnostik och behandling. Ett område på stark frammarsch är vävnadsteknik som kan innebära utveckling av behandlingsmetoder för sjukdomar som drabbar även den yngre befolkningen, till exempel diabetes. Bättre levnadsvillkor i kombination med god hälso- och sjukvård gör att medellivslängden ökar. Sjukvårdens karaktär ändras och en större betoning på hemvård och vård i alternativa boendeformer ställer nya krav på hjälpmedel i en decentraliserad vård. Det är aktuellt med bland annat intelligenta sensorer och signalbehandling för fjärrdiagnos. Dessutom ökar behovet av implantat och den tidigare nämnda vävnadstekniken. Nya viktiga frågeställningar inom medicinsk teknik förutspås.

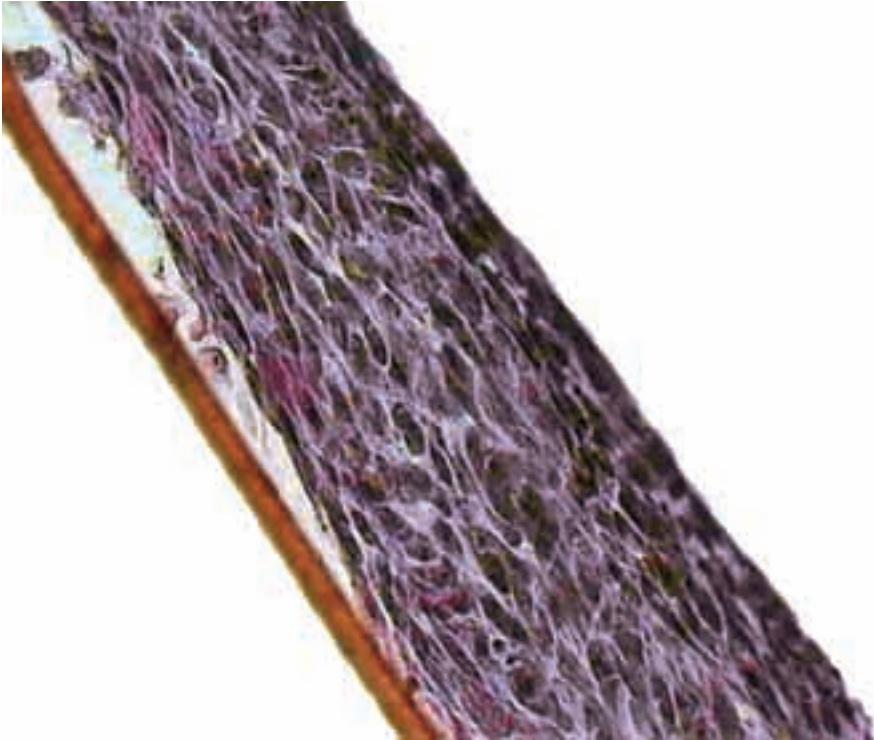
## STRATEGIER

### Kontaktyta mot andra områden

Medicinsk teknik ryms idag inom beredningsgruppen för nya områden, tvär- och mångvetenskap. Området har vuxit i omfattning och kvalitet. Dess storlek och styrka motiverar en egen beredningsgrupp i framtiden.

Det är viktigt att skapa mekanismer för att öka kontaktytan mellan medicin, biologi, kemi och fysik. En fortsatt positiv utveckling inom medicinsk teknik kräver detta.

Merparten av projekten är beroende av tillgång till analys och karaktärisering av material. Det är därmed viktigt att en infrastruktur för tillgång till analys



*Antalet svenska innovationer inom medicinsk teknik i samarbete mellan tekniska och medicinska innovatörer/forskare är stort. Vävnadsteknik är ett område på frammarsch där forskningen i Sverige har potential att ge ett signifikant bidrag.*

Istället för transplantation eller protes vid exempelvis svåra brosk-, led- och senskador börjar det bli möjligt att återbilda funktionell vävnad med hjälp av levande celler som odlas med patientens egna celler. För att kunna göra detta utan öppen kirurgi och istället använda titthålskirurgi behövs ny teknik och nya metoder. En av metoderna för detta baseras på tre delar: en matris (röda linjen i bilden) som fungerar som en byggnadsställning för broskcellerna att fästa vid, levande celler samt tillväxtfaktorer. Alltihop ska kunna injiceras vid en titthålsoperation och matrisen ska utan att lämna giftiga rester brytas ned i kroppen i takt med att den nya vävnaden bildas och skadan blir läkt. Bilden visar en rödfärgad matris och celler i tillväxt (blå färg). Tillsammans har detta ungefär ett hårstrås storlek. Foto: Nicklasson, Britberg, Gatenholm

av hög kvalitet och utveckling av nya tekniker upprätthålls och i förekommande fall inrättas.

Satsningen på unga forskare är positiv och viktig för områdets utveckling. Det är viktigt att inte glömma bort forskarna på mellannivån, det vill säga varken en ung forskare eller en excellent forskare. Det är viktigt för området att en

ung forskare som initierar ny forskning får möjlighet att följa upp den även om han/hon inte längre är en ung forskare. Satsning på rådsforskare och lektorer är därför befogad.

#### SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

## Underfinansiering ändrar projektet

En ansökan kan sällan beviljas full finansiering. Det är också sällan som det beviljade beloppet motsvarar en full finansiering av till exempel en doktorandtjänst. Detta medför att de flesta projekt kräver tilläggsfinansiering från en annan källa, vilket i sin tur betyder ett merarbete för de projektansvariga. Det kan också medföra att projektet inte får den renodlade inriktning som beskrevs i ansökan.

# Subatomär fysik och astrofysik

## BEDÖMNING

- ▶ Subatomär fysik och astrofysik är genom sin utpräglade grundforskningskaraktär förmodligen mer beroende av Vetenskapsrådet än något annat ämnesområde.
- ▶ Sverige är genom sitt medlemskap i CERN, ESO och ESA och som deltagare i andra internationella kollaborationer med i, visserligen ett fåtal, men ändå världsledande experiment inom subatomär fysik och astrofysik. Svenska forskargrupper måste få ökade resurser så att de kan arbeta under samma villkor som utländska grupper.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Studier av det största och det minsta

Ämnesområdet är mycket väl definierat som ett delområde av naturvetenskapen. Under senare år har partikel- och kärnfysiken alltmer närmat sig varandra inom frågorna om naturens grundlagar, och man söker svaren på lite olika vägar. Partikelfysiken studerar de enskilda partiklarnas växelverkan, medan kärnfysiken ofta studerar mångpartikeleffekter; på detta sätt kompletterar de båda disciplinerna varandra.

Astrofysiken, som studerar den för människan alltid aktuella frågan om hur vårt universum är uppbyggt, använder sig av i stort sett hela fysiken, inklusive atom-, molekyl-, kärn-, partikel- och plasmafysik. Ämnet sträcker sig också ut mot kemi och biologi. Astropartikelfysiken har under det senaste decenniet blivit ett etablerat forskningsområde i gränslandet mellan partikelfysik, astrofysik och kosmologi. Inom området studeras universums struktur på stor skala utifrån vår förståelse av de naturlagar som styr mikrokosmos.



## Tid och rum

Kosmologin spänner också över fältet från partikelfysik till astrofysik. Inom partikelfysiken studeras rumtidens struktur och tidsberoende, medan man inom astrofysiken studerar de astrofysikaliska fenomenen som är konsekvenser av detta. De tre benen som ämnesområdet vilar på är partikelfysik, astrofysik och kärnfysik. De är tre hörnpelare i de globala forskningsansträngningar inom grundläggande vetenskap som vårt samhälle är involverat i.

Syftet med forskningen inom partikelfysiken är att finna de mest fundamentala partiklarna som materien är uppbyggd av och de krafter som verkar mellan dem. Experimentellt sker detta vid de stora acceleratorerna, där partiklar – företrädesvis protoner och elektroner – accelereras till mycket höga energier för att sedan kollidera med varandra. För närvarande håller man på att bygga den nya acceleratoren vid CERN, Large Hadron Collider (LHC) som väntas tas i bruk år 2007.

Mycket av arbetet nu i Sverige är förberedelsearbete för de experiment som kommer att utföras vid denna accelerator, men svenska grupper arbetar också vid den nu största acceleratoren i världen i Fermilab liksom vid DESY i Hamburg. Vid LHC kommer Sverige att delta i två experimentella anläggningar. Den ena är ATLAS som så allmängiltigt som möjligt försöker utforska längdskalor kortare än cirka en tiotusendel av en atomkärnas diameter. Den andra är ALICE som är byggd för studier av det kvark-gluonplasma som förväntas uppstå vid tungjonskollisioner.

## Experiment och teori

Under de senaste trettio åren har standardmodellen för partikelfysik vuxit fram, den modell som beskriver partikelfysiken vid de energier där vi nu kan mäta. Partikelteorin utgår från två riktningar. Inom den ena riktningen, fenomenologin, sker arbetet med modeller som beskriver fenomen som man inte direkt kan räkna ut med standardmodellen. Dessa modeller anpassas så att de kan jämföras med de experiment som utförs. Här har en grupp i Lund utvecklat den så kallade Lundamodellen, som används regelmässigt av alla experimentgrupper runt om i världen för att ge förutsägelser om de experimentella utfallen.

Inom den andra riktningen, den mer teoriskapande verksamheten, söker forskarna en teori som kan beskriva de fyra grundläggande krafterna inom ett gemensamt kvantmekaniskt ramverk: den starka respektive svaga kärnkraften, elektromagnetismen samt gravitationen. Den bästa kandidaten är supersträngmodellen, som delvis har utvecklats i Sverige. Modellen behandlar hypotetiska, endimensionella strängar – naturens minsta beståndsdelar.

Kärnfysiken syftar till en ökad förståelse för atomkärnans mycket mångfacetterade egenskaper och de krafter som verkar mellan dess huvudsakliga beståndsdelar, protonerna och neutronerna. Atomkärnan är ett kvantmekaniskt mångpartikelsystem som uppvisar en mycket stor variationsrikedom av fenomen och är en av de största utmaningarna i naturen att försöka förstå sig på. Detta sker experimentellt vid acceleratoranläggningar runt om i världen genom att atomkärnor produceras i extrema tillstånd med avseende på energi, rotation eller förhållande mellan antalet protoner och neutroner.

Tungjonfysiken och hadronfysiken syftar båda till att förstå hur man relaterar kvarkar och gluoner (de underliggande fundamentala partiklarna) till dem som man verkligen observerar, hadronerna, i två komplementära förhållanden under hög temperatur och i fåpartikelprocesser. Teorin för kvarkar, gluoner och deras växelverkan, kvantkromodynamiken, har en mycket enkel och elegant formulering. Men det är mycket svårt, utom i speciella fall, att göra beräkningar som kan jämföras med experimentella resultat. Därför söker man finna dessa speciella fall inom hadron- och tungjonfysiken.

## Det unga universum

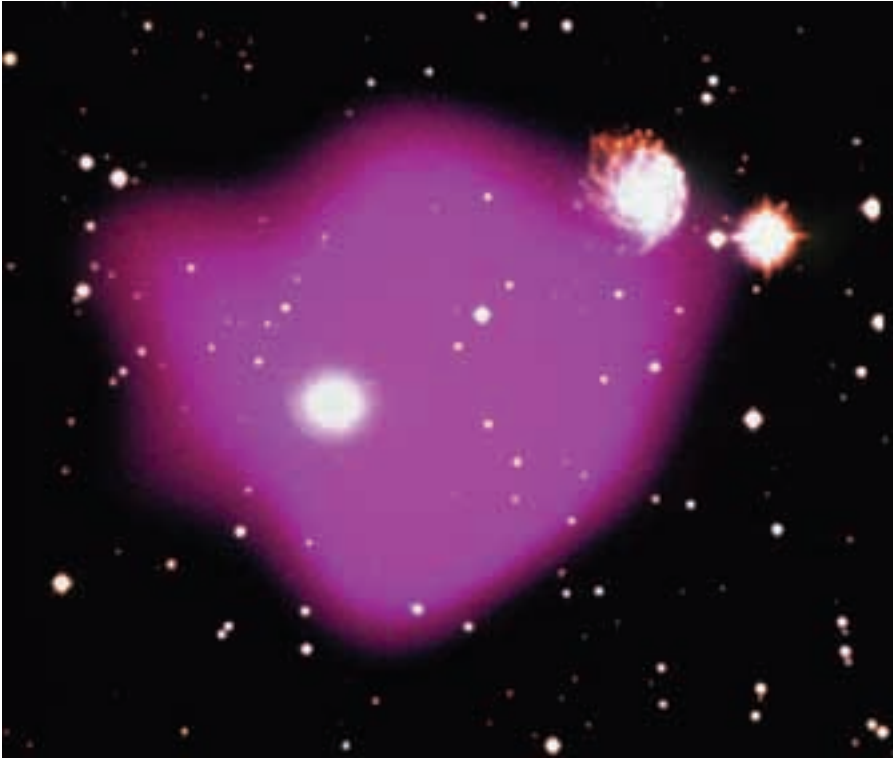
Utvecklingen inom astrofysiken sker just nu mycket snabbt inom flera olika riktningar, till stor del beroende på det stora antal nya mark- och rymdburna instrument och teleskop man fått tillgång till under senare år. Exemplet inkluderar detektionen av nya, extrasolära planetsystem i vår egen närhet, vilka har givit upphov till ett helt nytt område: astrobiologin.

På större avstånd utgör de så kallade gammastrålningsutbrotten ett av de största mysterierna, där man med stor sannolikhet bevittnar bildandet av svarta hål i samband med supernovaexplosioner eller kolliderande neutronstjärnor.

Forskare inom kosmologin gör kartläggningar av en stor del av det synliga universum, inkluderande miljoner galaxer, vilka jämförs med numeriska simuleringar av universums storskaliga struktur. Denna struktur beror i sin tur på vad som hände under den första bråkdelen av en sekund efter Big Bang och är intimt förknippad med egenskaperna hos partikelfysiken vid de högsta energierna.

Med de allra största teleskopen studerar man bildandet av de första galaxerna och stjärnorna, då universum bara var en tiondel av sin nuvarande ålder. Genom studier av den kosmiska bakgrundsstrålningen och avlägsna supernovor kan man noggrant bestämma universums geometri, liksom dess energinnehåll.

Från dessa experiment framgår det att universum består till 70 procent av mörk energi och 30 procent materia. Av materia kan dock endast en mycket liten del (ungefär en sjättedel) bestå av den ”vanliga” materia som vi människor



*Subatomär fysik och astrofysik är genom sin utpräglade grundforskningskaraktär förmodligen mer beroende av Vetenskapsrådet än något annat ämnesområde.*

Ett mysterium forskare undersöker är mörk materia. Den verkar utgöra över 90 % av hela universums materia, men ingen vet vad den består av. Den kanske inte ens är uppbyggd av atomer av samma slag som vi har på jorden. Vi kan se att den mörka materian finns eftersom den förvränger ljuset från avlägsna galaxer. Den skulle också förklara hur stora gasmoln i universum kan hållas samman. Gasmolnet på bilden hålls samman av gravitation, men den materia som vi kan se räcker inte för att skapa tillräckligt stark gravitation. Något ytterligare måste finnas, annars skulle gasmolnet spridas ut och försvinna. Det besvärliga är att mörk materia inte sänder ut eller reflekterar strålning som går att mäta med dagens metoder. Foto: NASA/SPL/IBL Bildbyrå

består av. Resten, cirka 25 procent av universum, måste bestå av någon ännu icke upptäckt partikel, till exempel de supersymmetriska partiklar som förutspås av supersträngteorierna. Detta är en av de största olösta gåtorna inom fysiken. Inom de flesta av dessa områden är svenska forskare aktiva, och har givit viktiga teoretiska och observationella bidrag. Här är medlemskapen i ESO och ESA av största vikt, vilka garanterar tillgång till världens bästa instrument.

## Förening mellan gravitation och kvantmekanik

Svenska forskare har bidragit till flera viktiga inomvetenskapliga genombrott. Forskningen inom strängteori som ledde fram till supersträngteorin medförde ett stort genombrott inom sökandet efter en fundamental teori för all växelverkan. För första gången hade man en teori som förenade gravitation med kvantmekanik och som hade en chans att bli en allmängiltig teori för all växelverkan. Likaså var Lundamodellen för partikelreaktioner ett stort genombrott och ledde till att den anammades av i stort sett alla experimentalgrupper. Båda dessa genombrott skedde på 80-talet.

Sedan slutet av 80-talet har också stort intresse riktats mot klusterfenomen i exotiska kärnor såsom halokärnor. I slutet på 90-talet hittades en helt ny hittills okänd sönderfallsmekanism för atomkärnor, det prompta proton sönderfallet, som har väckt stort internationellt uppseende. Svenska forskare har varit och är ledande i experimentella undersökningar av dessa fenomen. Astronomiska studier av fenomen i universum kan dra stor nytta av att kombinera information från olika våglängdsområden och olika partikelbudbärare. Svenska forskare har sedan mitten av 90-talet spelat en framträdande roll i utvecklingen av neutrinoteleskopin, och de har därmed bidragit till att visa att isbaserade teleskop är fungerande koncept för framtidens stora satsningar.

Inom solfysiken har svenska forskare utvecklat världens bästa markbaserade solteleskop. Detta har skett genom utnyttjande av modern optik och elektronik som kompenserar för den bildförvrängning som sker i jordatmosfären. Andra grupper har varit tongivande vad gäller utvecklandet av nya radioteleskop och extremt stora optiska teleskop.

Att den kosmiska expansionen accelererar är ett av de viktigaste resultaten under slutet av 90-talet inom kosmologin. Upptäckten gjordes av två oberoende grupper, varav en med svensk medverkan. Detta fenomen kommer enligt planerna att ytterligare undersökas med hjälp av ett rymdbaserat teleskop.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Minskade resurser ger färre doktorander

Den svenska forskningens internationella ställning inom området är fortsatt god trots de minskade resurser som området har fått under senare tid. Man hävdar sig väl inom de internationella kollaborationer inom experimentell partikel- och kärnfysik som man deltar i. De minskade resurserna slår mest mot doktorandantagningen som har gått ner. Samtidigt har intresset för högre studier, som alltid varit stort, snarare ökat.

Samma tendens finns inom partikel- och kärnteori, där de svenska grupperna har fortsatt att spela viktiga roller, men där antalet doktorander har minskat i takt med resurserna. Inom astrofysiken gör bristen på doktorandtjänster att det stora antalet nya instrument och teleskop som blivit tillgängliga inte tillfullo kan utnyttjas, trots att de existerande grupperna har en stark ställning internationellt. En stor insats har gjorts inom astropartikelfysikområdet, där de disputerade i området snabbt blivit fler. Det kommer dock att vara ödesdigert på lite längre sikt att inte kunna utbilda tillräckligt många doktorer.

## Högsta betyg

För tio år sedan hade, och ännu i dag har, supersträngteorin och Lundafenomenologin särskilt starka ställningar, något som man kan se i den internationella utvärdering som gjordes av NFR där båda fick högsta betyget. Ett underområde som har vuxit sig mycket starkt under det senaste decenniet är astropartikelfysik som i stort sett startade för tio år sedan. Inom kärnfysik har både experimentell och teoretisk kärnstrukturphysik under många år intagit en stark ställning såväl nationellt som internationellt. Även inom tungjonfysiken och hadronfysiken gör svenska forskare starka insatser.

Inom astrofysiken har Sverige dels stärkt sin ställning inom ”klassiska” områden, som förståelsen av solens och andra stjärnors atmosfärer, dels fått flera starka grupper inom nya områden, som högenergiastrofysik (inkluderande svarta hål, neutronstjärnor, supernovor, aktiva galaxer) och bildandet av planetsystem. Detta reflekterades i de höga betygen i astronomiutvärderingen som NFR gjorde år 2000.

I det bistra ekonomiska klimatet har ämnesrådet valt att koncentrera forskningen på de mest framgångsrika grupperna. Detta betyder att vi inte täcker hela området. De svagare grupperna har fasats ut eller håller på att fasas ut. Inom den subatomära fysiken gäller detta övervägande grupper som inte ingår i storskaliga internationella samarbeten vid till exempel CERN, Fermilab och DESY. Forskningen vid dessa anläggningar har bedömts som starkare än den som bedrivits vid The Svedberg-laboratoriet i Uppsala. På beredningsgruppens rekommendation har ämnesrådet därför satsat ganska lite på experiment i Uppsala och låtit huvuddelen gå till de internationella experimenten.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Fenomenologin har framtiden för sig

Inom experimentell partikelfysik ökar storskaligheten och komplexiteten ytterligare och stora framsteg har gjorts inom utvecklingen av sensorer som anpassats

till den strålningsintensiva omgivningen vid LHC, Large Hadron Collider. Under det senaste decenniet har de teoretiska förutsägelseerna inom ramen för standardmodellen verifierats med mycket hög precision. Samtliga experimentella resultat har kunnat tolkas inom denna teori.

Arbetet med att finna en mer omfattande teori har därför bedrivits enbart från teoretiska utgångspunkter. Inom partikelteorin är den internationella trenden att de flesta arbetar inom samma problemkomplex. Här har strängteorin varit det dominerande ämnet sedan lång tid tillbaka och de flesta stora universitet i världen satsar stort på detta område. Nya grupper växer upp vid allt fler universitet. När LHC producerar data kommer fokus att skifta mot mer fenomenologiska studier. Det är då viktigt att vi har en förberedelse för detta.

## Strålände utveckling

Under de senaste tio åren har forskningen inom kärnstrukturfysiken tagit ett mycket stort steg framåt beroende på utvecklingen av nya detektortekniker, utvecklingen av radioaktiva jonstrålar vid ett flertal laboratorier, och en kraftig internationalisering och koncentration till ett fåtal världsledande anläggningar.

Tungjonfysiken vid höga energier har under samma tid utvecklats från en marginell aktivitet till ett brett forskningsfält med dedicerade stora anläggningar. Inom hadronfysiken har forskarna upptäckt så kallade *glueballs*, partiklar som är uppbyggda av bara kraftpartiklar, vilka var en väsentlig del av kvantkromodynamikens förutsägelser. Forskarna har gjort stora framsteg för förståelsen av de starka kraftpartiklarnas roll för hadronernas struktur. På teorisisidan har de kommit fram till starkare kvantkromodynamikbaserade metoder snarare än modellbyggnad.

Inom astrofysiken har det stora antalet nya instrument som tagits i bruk under det senaste decenniet gjort att nya våglängdsområden blivit tillgängliga. Detta gäller både infrarödastronomi, UV-, röntgen- och gammastrålningsastronomi, där satelliter har öppnat helt nya möjligheter. Samtidigt har man inom det synliga området fått Hubble-teleskopet (HST), med sin fantastiska spatiala upplösning, och på marken en hel generation teleskop med en diameter på mellan åtta och tio meter. Det främsta av dessa är Very Large Telescope (VLT) på ESO.

Svenska forskare har varit flitiga användare av både HST och VLT. En stark tendens är att ha gått från tidigare begränsning till ett våglängdsområde till att använda så många av dessa instrument som möjligt för att förstå de studerade objekten.

Ett bra exempel är gammastrålningsutbrotten, där forskarna tack vare en kombination av instrument nu har börjat förstå dessa tidigare mystiska objekt. Parallellt med denna observationella verksamhet arbetar man med alltmer sofistikerade – och därmed realistiska – numeriska simuleringar av dessa komplexa

objekt. Detta kräver ofta synnerligen kraftiga datorer och utnyttjande av parallell-dator teknik. Denna växelverkan mellan teori och observationer, ofta inom samma forskargrupp, är karaktäristisk för dagens astrofysik.

## Mer data från satelliter

Man kan se två stora tendenser för de kommande tio åren. Den ena tendensen är inom astropartikelfysik och kosmologi, där nya data kommer att flöda in tack vare nya satelliter och andra metoder att mäta. Dessa data kommer att vara avgörande för att diskriminera mellan olika modeller för universum och dess utveckling. Den andra tendensen är att i och med starten av datatagning vid LHC så kommer experiment att bedrivas i en energiomän där den nuvarande standardmodellen inte är internt motsägelsefri.

Utvecklingen av teorin för elementarpartiklar kommer därigenom för första gången på flera decennier att drivas av experimentella resultat. De stora kollaborationerna inom experimentell elementarpartikelfysik kommer dessutom under det närmaste decenniet att behöva implementera system för att distribuera datorberäkningar och ge tillgång till data i en skala som mångfalt överstiger vad som tidigare har uppnåtts i något annat sammanhang. Forskarna har därför, tillsammans med forskare från andra discipliner, kraftfullt engagerat sig i arbetet med att utveckla GRID-tekniken, som innebär enkelt uttryckt att flera datorer kopplas samman för att vid ett särskilt tillfälle utnyttja den just då lediga kapaciteten. Om denna utveckling blir framgångsrik kan man förvänta sig att denna teknik kommer att påverka vårt samhälle i lika hög grad som utvecklandet av Internet, som uppfanns just för att lösa problemet med att distribuera information i stora kollaborationer inom elementarpartikelfysiken.

## Kollisioner mellan elektroner och positroner

Det finns aspekter av standardmodellens tillkortakommanden som inte kan utforskas vid LHC. Det gäller till exempel frågan om neutrinos massa som kommer att studeras bland annat genom att rikta neutrinostrålar från befintliga accelerators mot anläggningar som är under uppbyggnad i Italien, USA och Japan. För att svara på frågor som rör partikelfysik, astrofysik och kosmologi, så kommer neutrino källor att utforskas med neutrinoteleskop.

Även om ingen ifrågasätter LHC:s upptäcktpotential vad gäller fenomen bortom standardmodellen, finns det skäl att tro att sådana fenomen skulle kunna detaljstuderas vid en linjär elektron-positronkolliderare. Det skulle innebära att de intressanta händelserna kan renodlas. Forskning och teknisk utveckling för att i framtiden konstruera en linjär högenergikolliderare bedrivs på fler håll i världen, bland annat vid CERN.

Forskarna diskuterar också alternativa accelerationstekniker och alternativa partikelkolliderare, till exempel myonkolliderare. Inom hadronfysiken är mycket att förvänta från de så kallade B-fabrikerna och från uppgraderingen av Jefferson-laboratoriet i USA till högre energier. I B-fabriker produceras mängder av B-mesoner och anti-B-mesoner. Genom att studera dessa partiklar kan man kanske förklara varför universum domineras av materia över antimateria.

Forskningen inom kärnstrukturfysiken står nu också på randen till en helt ny era med radioaktiva jonstrålar och innovativ ny experimentell instrumentering. Det spännande nya steget för forskningen för de kommande tio åren blir att kombinera de existerande radioaktiva jonstrålarna med högeffektiva detektor-system, vilket inom en mycket snar framtid realiseras vid tre laboratorier i Europa. I slutet av tioårsperioden bör nästa generations accelerator för radioaktiva jonstrålar stå färdig i Europa, samtidigt med nästa generations nya detektor-system baserad på banbrytande ny detektorteknik. Anläggningarna för radioaktiva strålar kommer också att möjliggöra helt nya experiment inom astrokärnfysik för att bland annat öka förståelsen om de tyngre grundämnenas ursprung.

## OWL och IceCube

Inom astronomin planerar man redan nästa generations instrument, både på marken och med satelliter. På marken kommer man inom ESO att färdigställa den interferometer som kopplar samman de fyra VLT-teleskopen till ett samverkande instrument med vilket man kan upplösa stjärnnytor och studera processer nära svarta hål.

Parallellt med detta har man påbörjat det radioteleskop, ALMA, som byggs i Chile. Detta kommer framförallt att ge nya möjligheter till studier av galax- och stjärnbildningen i det tidiga universum, liksom nybildade planetsystem i vår närhet. Inom det optiska området planerar man för ett gigantiskt 100-meters-teleskop, kallat OWL (Overwhelmingly Large Telescope), som kommer att ha mer än 100 gånger så stor ljussamlande förmåga som dagens största teleskop. År 2010 sänds ett nytt rymdteleskop, NGST upp i rymden. I alla fallen är det främst det tidiga universum man vill studera.

Andra satellitprojekt kommer att inriktas mot gammastrålningsområdet, där exotiska objekt som svarta hål kan studeras. Det finns en förväntan att se signaler från den mörka materian som dominerar universums massa. Andra projekt har som mål att detektera jordliknande planeter med hjälp av flera samverkande satelliter. Svenska grupper är involverade i flera av dessa projekt.

Slutligen kommer inom astropartikelfysiken en stor satsning på ett kubik-kilometer stort neutrino-teleskop i Antarktis is att bereda möjligheter att ut-



forska högenergetiska objekt i universum. Svenska grupper spelar en viktig roll i detta projekt ”IceCube”, som för närvarande har en svensk talesman.

## STRATEGIER

### Prioritera de bästa forskarna

Underområden bör inte särskilt prioriteras utom i nödfall. Vetenskapsrådet bör istället prioritera de bästa forskarna. Ska underområden ändå prioriteras bör en riktad satsning gå till grundläggande fysik. Riktade satsningar bör dock i första hand vara av strukturinriktad karaktär. Det saknas medel för doktorandanställningar runt om i grupperna, och detsamma gäller även för seniora forskare på nivån rådsforskare/lektor/befordrad professor.

Då resurserna för forskning inom ämnesområdet har sjunkit år efter år finns inte medel för ”friköp” för alla dessa aktiva seniora forskare. Då det inte heller finns medel på fakultetsnivå hamnar dessa personer i ett vakuum och blir stora ekonomiska belastningar för sina institutioner, trots att de i många lägen gör stora insatser både inom forskning och undervisning. Utländska doktorer bör också få bättre möjligheter till forskning i Sverige. Det vore synnerligen värdefullt att inrätta ett postdoktorsprogram för utländska forskare.

Vidare måste det satsas på de internationella experiment som Sverige deltar i. Det kommer att fattas medel om inte ämnesområdet får nya resurser. Dessa experiment har Sverige i princip redan sanktionerat genom att vara med i CERN och ESO, och den svenska insatsen är redan på en nivå som man knappast kan sänka ytterligare.

Sverige är genom sitt medlemskap i CERN, ESO och ESA och som deltagare i andra internationella kollaborationer med i visserligen ett fåtal men ändå världsledande experiment inom subatomär fysik och astrofysik. Det är oerhört viktigt att dessa grupper kommer att kunna ha medel till att arbeta på samma villkor som utländska grupper. För detta fordras en substantiell ökning av resurserna till ämnesområdet, helst som obundna medel, men om detta inte går, som strukturinriktade satsningar.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Utpräglad grundforskningskaraktär

Subatomär fysik och astrofysik är genom sin utpräglade grundforskningskaraktär förmodligen mer beroende av Vetenskapsrådet än något annat ämnesområde. Endast i mycket ringa utsträckning (IT-medel för utveckling av GRID-teknik) har regeringens ämnesinriktade öronmärkta medel kommit ämnesområdet till

del. Området har direkt missgynnats av 90-talets modetrend att främst stödja strategisk forskning, definierad som sådan som ställer kommersiella tillämpningar i utsikt.

Vetenskapsrådet har ett särskilt ansvar att satsa på grundläggande kunskapsuppbyggnad utan kortsiktiga krav på ekonomisk avkastning. Sådan grundläggande forskningsverksamhet kan också oväntat ge bidrag av utomordentlig ekonomisk betydelse, som till exempel Internet utvecklade vid CERN.

För den experimentella subatomära fysiken har medlen dramatiskt skurits ner under de sista tio åren, både inom fakulteter och inom Vetenskapsrådet. Hos LHC-grupperna i Sverige sviker detta varje dag, eftersom det svenska deltagandet har utformats i början av 90-talet med storskaliga detektorbidrag. När dessa planer fastställdes antogs det att det skulle finnas teknisk personal vid institutionerna som kunde utföra arbetet, medel för att köpa in konsultexpertis om det skulle behövas (till exempel inom digital elektronik), laboratorielokaler inom institutionerna och svensk industri där produktionen kunde genomföras. Mycket litet av detta finns kvar.

## Djärva bidrag gav resultat

I början av 90-talet stod svensk detektorexpertis högt i kurs tack vare lyckade och djärva bidrag till dåtidens experiment. I dagens resursläge är denna ställning inte möjlig. För att bedriva en högklassig forskning på internationell nivå inom experimentell fysik krävs adekvat tillgång till teknisk personal. De stora investeringar i apparatur som har gjorts vid de internationella anläggningarna måste följas upp med personella resurser. Även tidigare, på 90-talet, var tillgången till teknisk personal vid institutionerna dålig, men den har nu blivit i det närmaste obefintlig.

Av de cirka 45 miljoner kronor som idag går till projektbidrag inom subatomär fysik och astrofysik går cirka 10 miljoner till projekt vid CERN. Driftsbidragen till ATLAS- och ALICE-detektorerna beräknas år 2005 uppgå till cirka 1,4 miljoner kronor och år 2007 öka till 3 miljoner per år. Ifall dessa kostnader ska tas inom ämnesrådets budget kommer det att medföra en mycket stor påfrestning på projektfinansieringen inom hela området. År 1997 fick den experimentella gruppen vid Stockholms universitet som arbetar vid CERN 4,4 miljoner kronor och i år denna siffra nere i 2,4 miljoner i löpande penningvärde.

Samma tendens finns också hos de andra grupperna. Visserligen är den experimentella aktiviteten lägre nu då vi väntar på att LHC ska färdigställas, varför några medel har förts till annan verksamhet; siffrorna visar ändå storleken på vad vi har kunnat satsa på denna typ av verksamhet. Till detta kommer att fakul-

tetsanslagen har minskat kraftigt under samma period, vilket har lett till att rådsmedlen fått användas för ändamål där fakultetsmedlen tidigare räckte. Man kan förvänta att alla internationella experiment inom beredningsgruppens område som svenska forskare deltar i, kommer att kräva driftsmedel i likhet med CERN-experimenten ovan. Därtill kommer ett ökande behov av resemedel, när experimenten är i gång.

Till vissa delar har den svenska partikelfysiken strukturerats om på grund av uppkomsten av experiment och teoribildning inom astropartikelfysiken. Detta har bidragit något till siffrorna ovan, men förklarar endast en mycket liten del. Man har bedömt att områden inom astropartikelfysiken snabbare kommer att ge resultat av stort internationellt intresse. Samtidigt ger det en ny generation av doktorander direktkontakt med nya nyckeldata. Exempel på sådana experiment, med stort svenskt deltagande, är Amanda/IceCube, GLAST, SNAP och PAMELA.

Samtidigt pågår naturligtvis den stora upptrappningen inför CERN/LHC som rimligtvis bör kunna producera data på denna sidan av 2010-talet. Eftersom så mycket av utvecklings- och forskningsresurserna är uppbundna under långa tidsperioder inom detta ämnesområde, är det mycket viktigt att kunna reservera ekonomiska resurser för grundläggande forskning över motsvarande lång tid.

Slutligen bör ämnesområdets stora betydelse inom forskarutbildningen nämnas. De som har doktorerat men inte fortsatt inom subatomär fysik och astrofysik har, på grund av forskningsverksamhetens storskaliga karaktär, alltid varit mycket attraktiva till tvärvetenskaplig akademisk forskning inom biologi och medicin samt utanför den akademiska kretsen inom industri, förvaltning och finanssektor. Det är dock forskarutbildningen som har fått störst minskningar när budgeten minskat.

En annan viktig aspekt är att astronomin, kosmologin och på senare tid också supersträngteorin har en mycket stor attraktionskraft bland stora grupper i samhället. Dessa områden fungerar därför som en viktig inkörspport för att öka intresset för fysik och naturvetenskap bland studenter och allmänhet.

# Atom- och molekylfysik, rymd- och plasmafysik samt fusion

## BEDÖMNING

- ▶ Svensk atom- och molekylfysik har haft stor nytta av den starka svenska acceleratorfysiken. Ett nytt aktivt nationellt acceleratorfysikprogram är nödvändigt för att spetskompetensen ska kunna vidareutvecklas.
- ▶ Rymdfysiken kommer i framtiden att domineras av internationella satellitmissioner, och fusionsforskningen av *International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)*.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Går på djupet med atomer och molekyler

Atom- och molekylfysiken omfattar studier av atomer, molekyler och joner med avseende på deras struktur (elektronisk och geometrisk), deras optiska egenskaper, deras växelverkan och kollisioner med elektroner, atomer och molekyler. Studierna omfattar även elektriska och magnetiska fält och deras växelverkan och kollisioner med ytor och fasta material.

Det som utmärker atom- och molekylfysik – och som avgränsar området mot delar av kemin – är att system och processer studeras vid den kvantupplösta nivån, det vill säga man tar hänsyn till och drar nytta av kvantfysikaliska effekter. Kvantfysiken beskriver atomära och subatomära system. Detta innebär att utvecklingen hela tiden går mot ökad kontroll och manipulation av atomers och molekylers kvanttillstånd, deras läge, hastighet och energi. Ett bra exempel på detta är att forskare genom manipulation med laserfotoner har kunnat kyla ned och rumsligt kontrollera atomer så att de bildar ett så kallat Bose-Einstein-kondensat (belönat med Nobelpris i fysik 1997 och 2001). Lasern spelar en central roll inom atom- och molekylfysik och området har många avknoppningar i form av tillämpningar inom ekonomi och industri, hälsa, miljö och natio-

nell säkerhet. Vidare kan man notera att atom- och molekylfysik har en stark koppling till rymdfysik och astrofysik. Signaler från rymden kommer ofta i form av fotoner (ljuspartiklar) som emanerar från atomära och molekylära processer. Tolkningen av signalerna är därför beroende av kunskapen om atomers och molekylers växelverknings och strukturer.

## Planeter och kometer

Rymdfysiken omfattar studier av vår egen planet Jorden och solsystemet med dess planeter, kometer och asteroider. Under många år dominerades rymdfysiken av studier av den övre delen av jordatmosfären och jordens plasmaomgivningar, såsom jonosfären, magnetosfären och solvinden. För gemene man är väl norrskenet det mest slående exemplet, och för den som är intresserad av att lyssna på utländska radiostationer är jonosfärens egenskaper av stor betydelse.

Eftersom mycket av forskningen inom rymdfysiken är sond- eller satellitbaserad så finansieras den huvudsakligen av Rymdstyrelsen. Vetenskapsrådet finansierar dels den del av rymdfysiken som är markbaserad, dels den del som avser utvecklandet av metoder att hantera de stora datamängder som kommer från sond- och satellitmissionerna. En utvecklingstendens är utforskandet av andra planeters atmosfärer och kometer.

## Vanligast i universum

Inom plasmafysiken studeras det fjärde aggregationstillståndet; de tre övriga tillstånden är fast, flytande och gas. Ett plasma är ett gastillstånd där en del av elektronerna har lämnat atomerna och befinner sig i ett fritt tillstånd. Faktum är att plasmatillståndet är det vanligaste i universum. Den tillämpade plasmafysiken spelar en viktig roll inom elektronikindustrin eftersom man använder plasmaetsning för att framställa mikroelektronikkomponenter.

Vetenskapsrådet stödjer grundläggande studier av plasmaegenskaper, ett plasmas växelverkan med magnetfält och så kallade dammiga plasmer, det vill säga plasmer som innehåller små partiklar som medger att man studerar och visualiserar nya typer av plasmatillstånd. Frågeställningarna inom plasmafysiken väljs inte sällan med hänsyn till de plasmprocesser som förekommer i jordens plasmaomgivning. Det finns också en möjlighet att dammiga plasmer har direkt relevans för hur planeterna har bildats.

Fusionsforskningen har som mål att producera energi från ett brinnande fusionsplasma. Detta mål ligger ännu ganska långt fram i tiden, men det är helt klart att utvecklingen har gått snabbt under de senaste åren, något som har gjort att planerna på *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER) har konkretiserats. ITER är ett internationellt samarbete mellan Europa, Japan, Ryss-

land, USA och Kina. Beslutet om att bygga ITER kan fattas under 2004 och detta skulle följas av en tioårig uppbyggnadsperiod. Den är en experimentreaktor, men om den utvecklas väl kan detta bli det sista steget innan en energiproducerande reaktor byggs. Medel från EU:s sjätte ramprogram (EURATOM) har avsatts för ITER.

Exempel på svenska forskningsinsatser av mycket stor betydelse är teoretiska molekylberäkningar som bidrog till utvecklingen av experimentella tekniker för att framställa  $C_{60}$  (Nobelpris i kemi 1996) och utvecklingen av ljuskällor för molekylspektroskopi. Det senare ledde till en uppfinning som påskyndar kemiska reaktioner, något som har fått tillämpning inom läkemedelsindustrin och resulterat i ett företag som dragit till sig hundratals miljoner kronor i riskkapital (Personal Chemistry).

## STYRKOR OCH SVAGHETER

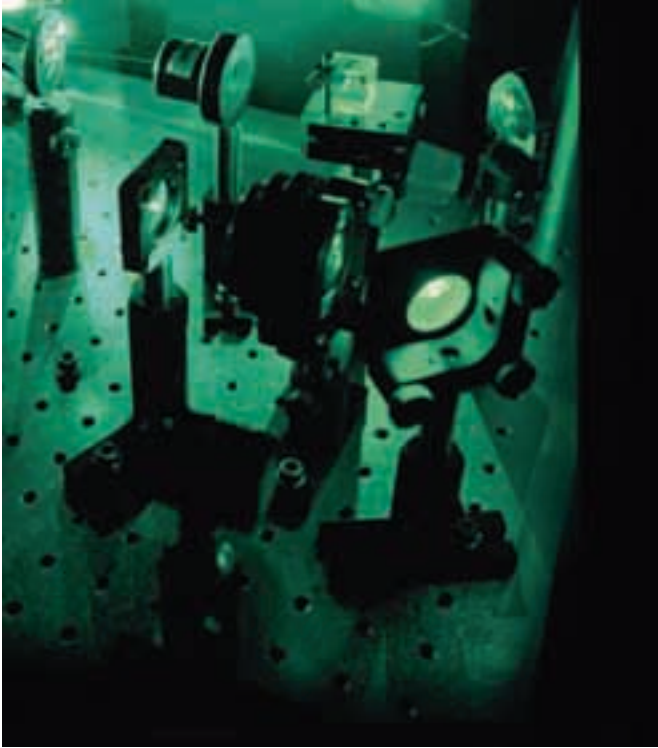
### Kvinnorna kliver fram

Den svenska forskningen inom atom- och molekylfysik bedömdes som mycket stark i den utvärdering av svensk fysik som publicerades år 1992. Det uttrycktes att den stod så stark att man tvekade att rekommendera förändringar. De rekommendationer som man gav har följts och svensk atom- och molekylfysik står om möjligt ännu starkare idag. Inriktningen är naturligtvis delvis annorlunda, men kvaliteten är högre. Ett par av de ledande forskargrupperna leds idag av unga (40–45 år) kvinnor som för tio år sedan inte ens hade en verksamhet i landet.

Svensk plasmafysik har antagligen minskat lite i omfattning under det senaste decenniet. Den var aldrig stor för tio år sedan, men den stod stark internationellt. Vid pensioneringar har professurer inte återbesatts, vilket gör att volymen är något mindre idag. Kvaliteten är dock oförändrad.

Rymdfysiken har utvecklats mycket under den senaste tioårsperioden. Utvecklingen har gått från sondraketer till satelliter. Det senaste nationella satellitprogrammet, Odin, har blivit mycket lyckat och fullföljer den starka traditionen efter Viking, Freja och Astrid-2. Just nu pågår diskussioner om ett eventuellt nytt satellitprogram. Samtidigt har det skett en viss kvantitativ nedgång för den rymdfysik som Vetenskapsrådet stödjer. Framtiden för EISCAT är inte helt klar och en del markbaserad rymdfysik finns inte längre kvar. Antalet personer som arbetar inom fältet har minskat.

Det europeiska fusionsprogrammet är samordnat och detta innebär att det svenska deltagandet är fokuserat på väl definierade och därmed begränsade områden. Den svenska fusionsforskningen är idag kvantitativt mindre, men kva-



*Kunskap inom naturvetenskap och teknikvetenskap är grunden för vårt moderna samhälle, en del av vår samhällskultur och en förutsättning för samhällsutvecklingen som helhet.*

Vår uppfattning om världen är starkt färgad av det vi själva kan se och uppleva. Laserljus används för att undersöka kvantfysikens regler för hur materien uppträder på minsta atomnivå. Vår svårighet att förstå kvantfysiken beror på att samma regler inte gäller på atomnivå som i vår dagliga omgivning där vi har grundat vår intuition om hur världen beter sig. Vi vet t.ex. att var sak har sin plats. Men på atomnivå gäller inte detta. Om en partikel har två olika platser den kan befinna sig på, kan den sägas vara utspridd så att den befinner sig på bägge platserna samtidigt. Har du en kulpåse med svarta och vita kulor i, kan du ta upp en och innan du kontrollerat vilken färg den har kan den sägas vara både vit och svart. Bilden visar ett experiment med laserljus för att undersöka hur en partikels egenskaper kan spridas ut på mer än en plats. Foto: Airi Iliste © Susanne Sandström

litativt starkare, än för tio år sedan. Då var Extrap T2 den stora nya experimentella satsningen i svensk fusionsforskning. Idag står Extrap T2 på höjden av sin produktivitet, men inom ett par år kommer svensk fusionsforskning att domineras av ITER. Svenska grupper är också mycket aktiva och framgångsrika på JET samt starka inom den teoretiska fusionsforskningen.

Starka områden för tio år sedan:

- Molekylspektroskopi
- Atomers och molekylers egenskaper och växelverkan med strålning
- Elektronstruktur hos atomer och molekyler

Svaga eller mindre utvecklade områden för tio år sedan:

- Atom- och molekyllollisioner, processer och växelverkan
- Exotiska atomer och molekyler, makromolekyler, kluster
- Kemisk dynamik
- Kemisk fysik
- Instrumentering och tekniker för atom- och molekylfysik
- Atom- och molekylfysik

Starka områden idag:

- Atom- och molekyllollisioner, processer och växelverkan
- Atomers och molekylers egenskaper och växelverkan med strålning
- Elektronstruktur hos atomer och molekyler
- Exotiska atomer och molekyler, makromolekyler, kluster
- Instrumentering och tekniker för atom och molekylfysik
- Kemisk fysik och möjligen kemisk dynamik

Svaga områden idag:

- Molekylspektroskopi

Framväxten av atom- och molekyllollisioner som ett starkt område följer av rekommendationer från internationella utvärderingar. Molekylspektroskopi har minskat avsevärt, helt enligt rekommendationer från utvärderingen för tio år sedan. Klusterfysik har växt starkt. Kemisk fysik har ökat i styrka och nya grupper med tillgång till ultrasnabba lasersystem har tillkommit.

Det är svårare att göra en liknande analys för de andra områdena eftersom de inte har några underområden i nuvarande klassificeringssystem. Den tydligaste trenden är dock att den del av teoretisk fusionsforskning som vid utvärderingen av svensk fysik 1992 bedömdes som svag nu helt har försvunnit. Svensk forskning inom rymdfysik stod 1992 stark vad gäller instrumentering för satellitprojekt. Idag är den om möjligt ännu starkare.



## En laser med kyla

Ultrasnabba molekylära processer kan nu studeras i detalj. Lagringsringar för joner och synkrotronljuskällor har utvecklat atom- och molekylfysiken i riktningar som inte kunde förutsägas för tio år sedan. Sverige har varit en viktig aktör i denna utveckling. Laserkylning och Bose-Einsteinkondensat är områden som är mycket aktiva internationellt. Rymdfysiken drivs ofta i stora internationella projekt och man börjar nu i ökande grad planera för studier av andra planeters atmosfärer.

Fusionsforskningen är inne i en brytpunkt. JET drivs fortfarande mycket intensivt, men om ett par år kommer ITER att ha förändrat bilden. USA kommer dessutom att bli en mer aktiv aktör inom fusionsforskningen. Utvecklingen i framtiden är naturligtvis svår att bedöma. Fusionsforskningen kommer under den närmaste tioårsperioden att helt präglas av ITER, men de problem som kommer att studeras ofta kommer att ha beröring med grundläggande fysikaliska fenomen som ickelinjär dynamik, turbulens och kaosutveckling samt växelverkan mellan plasma och andra materia.

Rymdfysiken kommer antagligen att domineras ytterligare av satellitburna missioner. Just nu pågår en intensiv utforskning av magnetosfären med Cluster II-satelliten. Sonden Rosetta ska enligt planerna skjutas upp i februari 2004 för att i november 2014 anlända till kometen Churyumov-Gerasimenko. Då börjar den egentliga datatagningen. Mars Express skjuts upp under 2003 och Cassini/Huygens når Saturnus under 2004. Venus express kommer enligt planerna att skjutas upp under 2005. BepiColombo kommer att utforska Merkurius och uppskjutning är planerad till 2010–12. Utöver dessa satellitprojekt, som samtliga har eller förutses ha stark svensk medverkan, finns ett antal som är avsedda för astrofysik.

Plasmafysiken kommer om tio år antagligen att ha nått en sådan utveckling att man vid plasmaetsning av elektronikkomponenter kommer att kunna styra processerna i detalj. I dagsläget opereras en plasmareaktor efter en slags *trial and error*-modell, det vill säga man prövar sig fram för att hitta den optimala driftsituationen. Om tio år kommer man att kunna göra en slags CAD av processerna så att man matar datorn med en omfattande databas för att sedan i detalj kunna beräkna de optimala driftförhållandena.

## Ultra är ordet

Atom- och molekylfysiken kommer att präglas av prefixet ultra. Ultrakalla atomer och molekyler, ultrahöga laserfältstyrkor, ultrasnabba laserpulser som gör att man kan följa ultrasnabba förlopp (attosekundpulser framställdes för första gången under 2002) och så vidare. Flera utvecklingslinjer kan skönjas. Inom området laserkyllning och ultrakalla atomer görs ansträngningar för att framställa Bose-Einsteinkondensat med molekyler. Det går inte än, men kanske under år 2004. Man rör sig också mot tillämpningar av laserkylda atomer och joner inom kvantdatorer och kryptering. Atomära system utnyttjas för att i detalj studera kvantmekaniska processer, och begrepp som tidigare var tankeexperiment realiserar nu fullt ut.

Nya metoder för att lagra joner har utvecklats. Det blir möjligt att följa en utveckling från CRYRING till DESIREE (beräknas stå klar 2005) och vidare till något ytterligare nytt som medger ökad kontroll av kvantmekaniska tillstånd och detaljstudier av atomära och molekylära kollisionsprocesser, ofta direkt kopplade till astrofysikaliska frågeställningar. DESIREE är en föreslagen ny typ av en mindre acceleratoranläggning för studier av kollisioner mellan atomära och molekylära joner. Denna typ av anläggning lämpar sig bland annat för undersökningar av enskilda mycket stora molekyljoners egenskaper och kan enligt internationella utvärderare ge svenska forskare unika möjligheter.

Instrumentutveckling kommer att få en ökande betydelse, och samarbetet kommer att öka mellan olika discipliner. Den förbättrade instrumenteringen kommer att leda till bättre definierade experimentella förutsättningar.

Nya ljuskällor, som en MAX IV vid MAX-laboratoriet i Lund eller en frielektronlaser i Stockholm/Uppsala, kommer att innebära att den starka svenska forskningen inom atom- och molekylfysik vid synkrotronljuskällor går in i en ny fas, från spektroskopi på enskilda system till en strävan att kartlägga mer komplicerade förlopp.

Molekylfysiken kommer att ha närmare sig biologiska frågeställningar och inom den molekylära biofysiken kommer en betydligt mer detaljerad och delvis kvantmekanisk bild av olika förlopp att finnas. Utvecklingen inom laserfysiken kommer att medge en koherent kontroll av molekylära processer. Molekylär vetenskap i bred mening kommer att vara det kanske viktigaste området inom naturvetenskap, och atom- och molekylfysik kommer att vara en del av detta och där spela en viktig roll.

## STRATEGIER

### Fria projektbidrag

Vetenskapsrådet ska i första hand verka för en allmän utökning av resurserna för fria projektbidrag, snarare än en utökning av resurserna för riktade satsningar. Riktade satsningar bör i första hand gälla forskarassistentprogram och postdoktorsprogram.

Strategiskt viktiga områden är den ITER-baserade fusionsforskningen, atom- och molekyllkollisioner, processer och växelverkan, atomers och molekylers egenskaper och växelverkan med strålning, hantering av data från satellitprojekt, kemisk fysik och gränsområdet molekylfysik/biologisk fysik. Området laserkylning och Bose-Einsteinkondensering skulle behöva stärkas om man jämför internationellt.

Svensk atom- och molekylfysik har haft stor nytta av den starka svenska acceleratorfysiken. Exemplet är givetvis CRYRING och MAX. Situationen är i dagsläget ytterst oklar, men någon form av nationellt acceleratorprogram är nödvändigt för att inte kompetensen helt ska försvinna. En genomtänkt satsning på acceleratorforskning och utveckling är nödvändig om Sverige ska kunna vara en aktör inom området även i framtiden. Det nationella acceleratorprogrammet måste definieras och ges resurser, annars kommer betydande delar av den svenska acceleratorkompetensen på kort tid att nedmonteras.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Fysik viktig för framsteg

De fysikaliska vetenskaperna (det vill säga fysik och den del av kemin som inte är direkt kopplad till livsvetenskaperna) har internationellt tenderat att komma i skymundan för livsvetenskaperna. Vi kan se samma tendens i Sverige. USA har insett att framsteg inom de fysikaliska vetenskaperna är av stor betydelse för naturvetenskapen i sin helhet, men kanske särskilt för livsvetenskaperna. Amerikanska *National Science Foundation* kommer att få avsevärt ökade anslag under de kommande åren.

Fusionsforskningen är antagligen det område som lider mest av den nuvarande strukturen, med all forskning förlagd till små universitetsgrupper och total avsaknad av nationellt ansvar. Denna modell kommer inte att fungera bra i den nya ITER-eran. Fusionsforskningen kommer under de närmaste åren att befinna sig i en fas då den traditionella projekthanteringen kan bli för tungrodd. Fusionsforskningskommittén bör få i uppgift att framlägga förslag på en annan hantering under en begränsad tid.

# Kondenserade materiens fysik

## BEDÖMNING

- ▶ Det finns i nuläget ett antal internationellt starka och framgångsrika svenska forskningsgrupper inom området. Dock bör det uppmärksammas att för att denna spetskompetens ska kunna behållas måste Vetenskapsrådet vidareutveckla sitt stöd till dessa grupper. Det gäller särskilt med hänsyn till att hittillsvarande satsning på grundforskningen inom dessa grupper från SSF:s sida riskerar att radikalt minska i och med SSF:s planerade nya strategi.
- ▶ Stödet till utrustning behöver öka.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Teori och experiment i nära samarbete

Inom den kondenserade materiens fysik studeras system bestående av sammanhängande materia – allt från kluster av atomer till makroskopiska system. Dessa studier domineras av ett atomistiskt angreppssätt, där systemens atomära uppbyggnad är av centralt intresse. Inom den kondenserade materiens fysik arbetar av hävd teori och experiment i mycket nära samarbete med varandra. I och med att teorins verktyg alltmer har förfinats har allt större krav kunnat ställas på experimentens noggrannhet och deras uttolkningar. Detta har totalt sett lett till ett ännu mera intensifierat samarbete mellan teori och experiment med ytterst fruktsamma resultat.

Inom området har man genom den starka utvecklingen alltmer kunnat studera system med växande komplexitet. Upptäckten av högtemperatursupraledning hos en ganska komplicerad oxid (år 1986) ledde till att man tvingades utarbeta metoder (både teoretiskt och experimentellt) för system med avsevärt komplex atomär uppbyggnad. Dessa hårdnande krav har sedan kunnat

utnyttjas för en mängd andra områden, exempelvis studiet av perovskiter, en grupp kristallina material, och keramiska material.

## Alldeles nya

Ett annat område som har varit kunskapsdrivande gäller artificiella material, såsom magnetiska multilager. Detta är kanske den mest visionära utvecklingspotentialen där atomärt uppbyggda system som inte finns någon annanstans i universum skapas. Detta ger möjligheter att skapa material med önskade egenskaper.

Detta leder i sin tur till nanoforskningen, som kanske kan sägas såg dagens ljus just inom den kondenserade materiens fysik. Den absolut mest pådrivande kraften här har otvivelaktigt varit introduktionen av ny avancerad elektronmikroskopi i början på 80-talet. Denna teknik, som har möjliggjort att man kan studera system ända ner på individuell atomär nivå, utvecklas mer och mer och är idag den mest väsentliga teknikplattformen för hela nanovetenskapen. Den utveckling som ligger till grund för de mycket stora internationella satsningarna görs till en betydande del inom den kondenserade materiens fysik. Särskilt USA och Japan är välkända för sina enorma satsningar inom området.

## Stark metod- och teknikutveckling nödvändig

Forskningen kan kanske beskrivas som att den försiggår längs två parallella spår, dels utveckling av nya system (bland annat med hjälp av elektronstrålelitografi och självhopsättande tekniker), dels karakterisering och egenskapsbestämningar av dessa system och modifierade former av tidigare kända kondenserade faser. Båda delarna förutsätter en stark metod- och teknikutveckling, inte minst vad beträffar den experimentella utrustningen.

Bland banbrytande svenska forskningsinsatser kan nämnas enelektrontunnelingsexperimenten i Göteborg som var nydanande för tio år sedan. Experimentella studier av hårda material, exempelvis i Uppsala och Linköping, har under lång tid rönt internationell uppmärksamhet. Svensk ytforskning, inte minst den som bedrivs med hjälp av synkrotronljus, har fått stor internationell uppmärksamhet. Viss typ av svensk synkrotronljusinstrumentering har varit världsledande och lett till avknopningsföretag.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Sverige bättre rustat idag

Den svenska forskningens internationella ställning inom området kan beskrivas som stark, många gånger som mycket stark. Förmodligen står vi bättre rustade

idag än för tio år sedan, i första hand dock genom insatser av andra finansiärer än Vetenskapsrådet. Exempelvis står vi bättre rustade idag inom magnetism, supraleddning, nanoområdet (inkluderande kolnanosystemen) och teori. Även inom underområdet polymerer står vi idag starka jämfört med tio till tolv år sedan. Likaså har vi idag starka grupper inom elektronstrukturteori. Förmodligen stod vi starkare inom ytfysik vad det gäller bredden för tio år sedan jämfört med idag, men då bör noteras att en del på den tiden ansåg att ytfysik var över-representerad i Sverige.

För tio år sedan var magnetism ett svagt område. Detta håller på att förändras. Forskning om utnyttjande av neutroner är i Sverige i förhållande till omvärlden något underrepresenterat. Forskning vid riktigt låga temperaturer har alltid varit centralt inom den kondenserade materiens fysik, men i Sverige har denna typ av forskning inte samma tydliga representation. Grundläggande forskning om material vid höga temperaturer är inte heller vanligt i Sverige idag.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Allt blir mera komplext

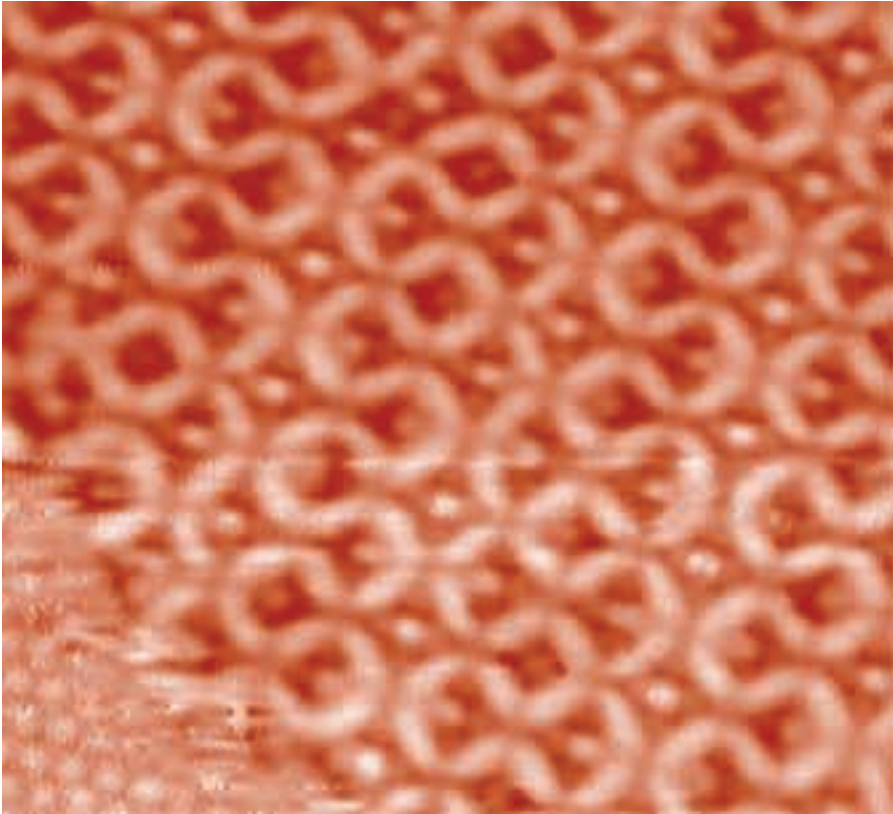
Idag, jämfört med för tio år sedan, är kanske det mest utpräglade draget hos den internationella forskningen steget till att undersöka avsevärt mera komplexa system. Detta har samtidigt inneburit att avståndet mellan grundläggande forskning och tillämpad forskning har krympt avsevärt. Ett annat drag är kanske att forskarteamen har blivit något större; det krävs mer omfattande kompetens för att driva ett projekt. Det är också vanligare idag med arbeten där flera olika grupper är involverade och bidrar med sin speciella kompetens.

För den kommande tioårsperioden är förstås nanoområdet centralt. Magnetiska system involverande spintronik kommer att vara ett oerhört aktivt område. Komplexa system kommer att studeras allt intensivare. Kopplingen mellan biologi och fysik kommer att ta verklig fart i en nära framtid. Studier av korrelerade system intensifieras. Generellt kommer kopplingen mellan grundforskning och tillämpningar att alltmer hamna i fokus. Teorin kommer att bli ännu mera nära knuten till experiment, i synnerhet som teoribildningen numera ibland är så utvecklad att den utmanar de experimentella resultaten.

## STRATEGIER

### Resurser till krävande datorer

Strategiska framtidsområden är nanovetenskap, spektroskopi och biologisk fysik, både teoretisk och experimentell. Biomimetik, som innebär att material kon-



*Det finns i nuläget ett antal internationellt starka och framgångsrika svenska forskningsgrupper inom området kondenserade materiens fysik.*

Nästan alla fasta material reagerar med syret i luften. På ytan bildas därför ett skikt där syreatomer har förenats med atomer från materialet och detta kan väsentligt förändra materialets egenskaper. Detta fenomen är av mycket stort forskningsintresse och viktigt inte minst inom katalysatorrening av bilavgaser. Även mer ädla metaller reagerar med syret. Bilden visar en yta av palladium där reaktionen i ett tidigt skede har bildat ett tunt ytskikt med syreatomer bundna till palladiumatomer. Informationen från sådana bilder jämförs med teoretiska modeller och leder till kunskap om hur den fortsatta reaktionen med syre sker.

Bild: E. Lundgren

strueras på ett liknande sätt som i naturen, är ett annat område som förtjänar stöd. Dessutom måste planerna kring MAX III, MAX IV och ESS följas och beaktas av Vetenskapsrådet.

Rent allmänt behöver stödet öka, särskilt till dyr och medeldyr utrustning, postdoktorer, och gästprofessorer. En viktig strategi är att säkerställa NORDITA:s

ställning och stärka den relaterade delen av EU-forskningen genom samnordiska plattformar. Det är också viktigt att beakta de stora utrustningsbehov som är förknippade med högpresterande datorer.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Anpassad finansiering för bästa resultat

Inom fysiken är den kondenserade materiens fysik internationellt sett ett dominerande område. I Sverige har de så kallade materialprogrammen varit mycket viktiga för utvecklingen av området. De introducerades av NFR och STU tillsammans för lite mer än tio år sedan. Dessa program kom att få en ganska uttalad profilering där grundvetenskapen var klart representerad. Denna grundvetenskapliga komponent är troligen en av förklaringarna till att dessa program har haft en mycket lyckad utveckling. Senare har dessa verksamheter till stor del hamnat inom SSF:s ansvarsområde. På så sätt har alltså en hel del finansiering av den kondenserade materiens fysik kommit att övergå från NFR, idag Vetenskapsrådet, till SSF.

Nu planerar SSF att genomföra en radikal kursförändring av sitt sätt att finansiera forskning. Detta förhållande bör Vetenskapsrådet uppmärksamma och anpassa sin forskningsfinansiering på så sätt att Sveriges spetskompetens inom den kondenserade materiens fysik kan vidareutvecklas.

Liknande problem föreligger vid MAX-laboratoriet. Här har SSF fått ta ett ansvar för en mängd postdoktorsfinansieringar som i praktiken utgör en väsentlig del av MAX-laboratoriets infrastruktur. Även STINT har haft ett liknande arrangemang i förhållande till MAX-laboratoriet. Nu ändrar dessa stiftelser sina program och MAX-laboratoriet kan i fortsättningen inte påräkna detta stöd.

Forskarsverige är idag nästan helt beroende av Knut o. Alice Wallenbergs Stiftelse för finansiering av dyr utrustning. Forskarna saknar i princip inflytande över denna stiftelse. För 15 år sedan hade stiftelsen och FRN i stort sett lika stora fördelningsmöjligheter. Idag är stiftelsen helt dominerande vad gäller dyr utrustning. Det är svårt att se hur en konsekvent och sammanhållen satsning på dyr utrustning ska kunna genomföras av Vetenskapsrådet utifrån detta förhållande.

Genom att finansiera utrustning, som trots allt endast är en toppfinansiering, kan en stiftelse vara väldigt inflytelserik över de framtida svenska forskningsprioriteringarna. Vetenskapsrådet måste uppmärksamma detta förhållande och arbeta ytterst horisontellt för att tillfredsställa en forskargrups finansieringsbehov.



# Matematik och teknisk matematik

## BEDÖMNING

- ▶ Stora forskargrupper är inte alltid den naturliga forskningsmiljön inom matematiken. Vissa problem låter sig förhållandevis väl delas upp i delproblem, vilket gör det naturligt att arbeta med hela problemet i en forskargrupp. Andra problem lämpar sig inte för uppdelning, vilket innebär att en forskargrupp inte är den naturliga arbetsformen för att lösa dem. Den mer individcentrerade formen av forskning kommer därför att fortsätta att vara av stor vikt.
- ▶ Det matematiska forskningsfältet växer snabbt i omfång och betydelse. Detta har uppmärksammats av andra länder, såsom USA, som har ökat stödet till matematik mycket kraftigt. Motsvarande har inte skett i Sverige, vilket har gjort att många delområden är glest besatta och att forskningsmiljöerna ofta är underkritiska.
- ▶ En utmaning för de matematiska ämnena är att delta i utvecklingen av den så kallade virtuella ingenjörskonsten, gärna som en del i en generell och bred satsning på teknikvetenskaplig grundforskning.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Med möjlighet att behandla allt

Det som är karaktäristiskt för de matematiska ämnena och skiljer dem från andra vetenskaper är inte så mycket vilka problem de behandlar utan hur de behandlas. Denna beskrivning kommer därför endast till en liten del ta upp problemområden utan ska istället försöka beskriva de matematiska ämnenas metodik.

De matematiska ämnena är ett mycket brett område, så brett att det idag är omöjligt för en person att ha ingående kunskap om hela området, och det är

sällsynt med personer som har sådan kunskap om mer än ett. Det finns dock gemensamma drag som gör att man med rätta kan tala om de matematiska ämnena.

Det dessa ämnen framförallt har gemensamt är en metodologi. Sammanfattat i en mening skulle det kunna uttryckas som att den matematiska metoden har, genom att inte behandla något speciellt, möjlighet att behandla allt. Man kan formulera det som att den matematiska metoden består i att ur ett ursprungligt problem extrahera de drag man finner vara de väsentliga i problemet, och sedan formulera det problem man verkligen studerar endast utifrån dessa drag. Risken med en sådan metod är att det ursprungliga problemet försvinner vid den vidare behandlingen. Fördelen är dock möjligheten att tillämpa lösningen till problemet på andra problem som kan vara helt skilda från det ursprungliga. Vid lösningen har man dessutom tillgång till resultat som har utarbetats vid lösningen av tidigare problem.

## Einstein och bilder

Det finns ett stort antal exempel på hur effektiv denna metodik kan vara. Resultat inom statistisk mekanik, studiet av det statistiska uppförandet hos ett stort antal partiklar, till exempel luftmolekyler, har kunnat användas inom finansiell matematik. Studiet av hela tal och deras egenskaper, idéer som först utvecklades inom talteorin, spelar numera en stor roll inom kryptografi. Idéer som ursprungligen utvecklades inom målarkonstens perspektivlära har kommit att, efter flera hundra års utveckling, lägga grunden till Einsteins relativitetsteori och är idag viktiga inom bildbehandling.

Den gemensamma metodologin och det matematiska språket gör att resultat kan vandra fritt mellan olika underområden. Speciellt betyder det att vissa problem som, trots att de ursprungligen uppkom utanför matematiken, kan tillbringa en lång tid som ett rent inomvetenskapligt problem för att därefter plötsligt komma till användning inom ett mer tillämpat område. Som exempel på denna långa inkubationstid är Fermats lilla sats, ett resultat som först bevisades av den franske 1600-talsmatematikern Pierre de Fermat och som för cirka 20 år sedan lades som grund för utvecklande av de öppna nyckelkryptografisystem som idag används för nyckelutväxling vid elektronisk kommunikation, elektroniska signaturer, med mera.

Trots att den gemensamma metodologin och språket förenar så finns det urskiljbara delar av de matematiska ämnena. Historiskt sett fanns bara matematik och något grovt kan sägas att de andra områdena har fått egna namn när de blivit tillräckligt specialiserade för att tydligt urskiljas. Själva ordet matematik är ursprungligen plural och innefattade därigenom ett antal underområden, men

idag är det naturligt att skilja på matematik och de andra matematiska ämnena. De matematiska ämnena kan delas in i underområden som enklast kan beskrivas genom den typ av problem de sysslar med.

## Svenska vetenskapliga genombrott

*Matematik*, det mest inomvetenskapliga av de matematiska ämnena, är fortfarande i hög grad präglad av sitt ursprung i fysik och geometri, men har under flera 100 år utvecklat många egna metoder. Under de senaste 15–20 åren har matematiken också starkt influerats av datorernas framväxt, vilket har lett till nya tillämpningsområden.

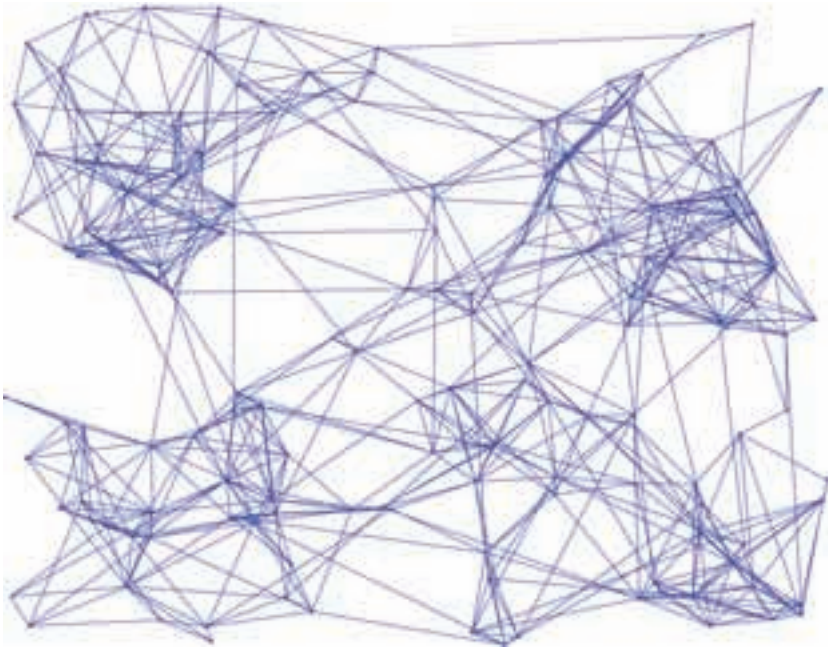
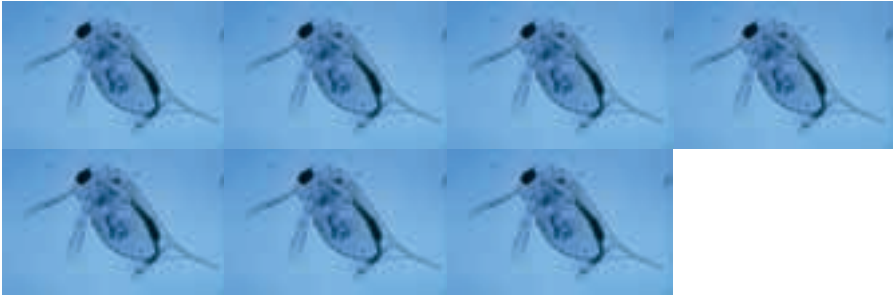
*Matematisk statistik*, som allmänt kan beskrivas som den matematiska teorin för slumpmässiga fenomen, har även det många traditionella kopplingar med till exempel fysik (och matematik). Under senare tid har statistik fått en ökad betydelse inom många andra vetenskaper som medicin, biologi, kemi och ekonomi på grund av den explosionsartade ökningen av datainformation vars behandling kräver mer avancerade analysmetoder.

*Numerisk analys* handlar huvudsakligen om problemet att numeriskt beräkna olika matematiska storheter, som i sin tur kan modellera mätvärden. Uppenbarligen har ämnet förändrats enormt genom tillgängligheten till kraftfulla datorer, men det finns fortfarande många matematiska problem gällande noggrannhet och effektivitet hos de numeriska metoderna.

*Teknisk matematik* beskrivs som relevant matematik med tillämpningar inom teknologiska ämnen. Ett exempel där svensk forskning har varit mycket framgångsrik är bildbehandling med datorer, då man försöker analysera bilder automatiskt till exempel för att identifiera fingeravtryck eller läsa inskannad text.

*Optimeringslära* kan ungefär beskrivas som matematiska metoder för att utföra en viss uppgift på bästa sätt under givna förutsättningar. Det kan handla om att finna det mest effektiva sättet att utnyttja givna resurser. Forskningen kan röra modellering såväl som metodutveckling. Tillämpningar finns inom ett stort spektrum av områden inom exempelvis teknik, finans och medicin.

Det finns flera exempel på svensk grundforskning som har lett till stora vetenskapliga genombrott eller tillämpningar. Inom matematik har vi Hörmanders resultat om lösningar till linjära differentialekvationer och Carlesons bevis för den så kallade coronasatsen. Inom sannolikhetslära har vi Smirnovs resultat om kritisk perkolation i triangulära gitter. Svenska bidrag till datorseende har inneburit genombrott för möjligheten att använda till exempel fingeravtryck för elektronisk identifikation. Dahlquists utveckling av numeriska metoder för ordinära differentialekvationer och Kreiss resultat om numerisk stabilitet för partiella differentialekvationer är exempel inom numerisk analys.



*Det matematiska forskningsfältet växer snabbt i omfattning och betydelse.*

Slumpmässiga fenomen erbjuder ofta fascinerande problem för matematiker att arbeta med. Samtidigt som detta arbete gör det matematiska språket ständigt rikare, ger det verktyg som blir användbara inom olika naturvetenskapliga och tekniska områden. Ofta förvånas man över att matematiska idéer som utnyttjas i ett tillämpningsområde också är användbart i andra. Matematiken bakom slump och sannolikhet kan t.ex. leda både till förbättrad överföringshastighet i datortrafiken på Internet, men också till förklaringar av variationer i antalet vattenloppor i en population (övre bilden). I den nedre bilden har en modell för kommunikationsnät, t.ex. Internet, testats. En punkt kan vara en dator och en linje är en uppkoppling mellan två datorer. Här studerar man hur slumpmässiga förändringar i enskilda punkter påverkar antalet uppkopplingar i kommunikationsnätet.

Foto: Ingemar Holmäsén – Naturfotograferna. Figur: Ingemar Kaj

## Matematik växer

Svensk forskning inom matematikämnen var stark för tio år sedan och är stark idag. Internationellt har matematikämnen breddats, men generellt har svensk forskning från en smalare utgångspunkt breddats mer än vad som skett internationellt. Inom matematik har till exempel geometri sedan lång tid internationellt sett varit ett starkt område, men det har i Sverige först under senare tid nått samma omfattning.

Inom matematisk statistik kom utvecklingen av biostatistik i Sverige senare än internationellt. Slutligen har teknisk matematik (som oegentligt ibland kallas för tillämpad matematik) traditionellt varit eftersatt i svensk forskning, men den har nu inom några nyckelområden en mycket stark internationell ställning. Det gäller inom till exempel bildbehandling.

De underområden som har beskrivits i föregående avsnitt är så stora att det inte har skett någon tydlig förändring vad gäller svensk forsknings betydelse under de senaste tio åren. Med en finare uppdelning av underområden var delområdena talteori och biostatistik svaga eller nästan obefintliga för tio år sedan, medan de idag är betydligt starkare, vilket även gäller för geometri och dynamiska system. Å andra sidan har mer matematiskt inriktad teoribildning för beräkningsmetoder försvagats, fastän den vuxit i absoluta termer.

Den senaste tioårsperioden har matematik, stokastik och beräkningsvetenskap i starkt ökad utsträckning engagerat sig i samarbeten med andra vetenskaper och med industrin. Ofta har engagemanget haft stor sprängkraft och lett till viktiga resultat. Som diskuterats ovan har svenska matematiker deltagit i denna utveckling.

Tillsammans med de många inommatematiska framstegen har utvecklingen lett till en mycket stor utökning av det matematiska forskningsområdet. Detta har uppmärksammats av andra länder, som USA, som har ökat stödet till matematik mycket kraftigt. Motsvarande har inte skett i Sverige, vilket har gjort att många delområden är glest besatta och att forskningsmiljöerna ofta är underkritiska.

## Cykliskt behov av nya metoder

Inom matematik går det att i ett långt perspektiv se ett cykliskt fenomen som handlar om att periodvis komma in i ett tillstånd när de befintliga matematiska metoderna inte räcker för att lösa de problem man är intresserad av att lösa.

Detta har en tendens att leda till ett tillstånd av ”introspektion” där man försöker bygga om grundvalarna för sitt ämne. När detta har lyckats går man tillbaka till att försöka lösa sina problem med de nya metoderna.

Denna cykel är inte koordinerad över hela matematiken, men väldigt grovt kan man säga att matematiken befann sig i en sådan introspektiv fas från 1940 till 1960-talet. En period när man har väl fungerande metoder innebär också ökade möjligheter till kontakt och utbyte med andra områden och det gäller i högsta grad för den innevarande perioden. Under den senaste tioårsperioden har vi till exempel sett ett intimt samarbete mellan geometri, analys och teoretisk fysik. Vi har också sett en spektakulär tillämpning av nya metoder på gamla i Wiles bevis av Fermats stora sats. Beviset utnyttjade en djupgående syntes mellan talteori, geometri och analys som under de senaste 20 åren har haft en rad andra spektakulära tillämpningar.

Under samma tidsperiod har också de nya behov och möjligheter som datorernas frammarsch inneburit lett till att områden som talteori, algebra och kombinatorik fått ökad betydelse. Vad gäller de andra matematiska ämnena så har tillämpningarnas betydelse ökat och en del nya underområden till dessa har vuxit fram som ett svar på detta behov. Återigen har de ökade möjligheter till beräkningar och simuleringar som datorerna gett upphov till ändrat fokus på en del områden. De har gett möjlighet till beräkningar i storskaliga problem, vilket gett ökad insikt men också ställt nya krav på beräkningsmetoderna, till exempel parallella beräkningar. Dessa utökade möjligheter till beräkningar har sedan lett till ny metodologisk insikt, vilket i sin tur har kunnat användas till mer effektivt utförda beräkningar.

## Explosioner av aktivitet

Generellt kan man säga att utvecklingen inom de matematiska ämnena, men kanske framförallt i matematik, är mycket svår att förutsäga. Utvecklingen styrs mycket av att då ett genombrott sker så leder detta mycket snabbt till en forskningsexplosion. Efter en kort intensiv period dämpas forskningen sedan till normal verksamhet.

Genombrott å andra sidan kan ofta vara fråga om ett enda enskilt resultat och sådana är nästan omöjliga att förutsäga. Om man tittar tillbaka på de senaste tio årens matematiska genombrott så är det svårt att se hur dessa skulle kunna ha förutsagts.

Efter dessa kommentarer kan man ändå försöka sig på att förutsäga vissa trender. De för närvarande täta förbindelserna mellan matematik och teoretisk fysik kommer förmodligen att vidareutvecklas. De matematiska tillämpningarna inom biologi, till exempel inom bioinformatik, kommer förmodligen att

växa i betydelse, vilket påverkar matematik (kombinatorik), matematisk statistik och numerisk analys.

En utmaning för forskningen i matematisk och stokastisk modellering och beräkningsteknik är att delta i utvecklingen av den så kallade virtuella ingenjörskonsten där verkliga experiment ersätts av experimenterande i datorer.

Vad gäller den betydelse datorer har haft under de senaste tio åren är det mer vanskligt att göra några förutsägelser. Det har funnits en viss tendens, både inom de matematiska ämnena och utanför, att utnyttja den för närvarande exponentiellt ökande datorhastigheten/kapaciteten till att ersätta analys med ”råräkning”. Detta har till stor del varit förståeligt då till exempel slutna formler endast kan erhållas i en begränsad klass av problem så att datorberäkningar har kunnat nå mycket längre. Det är dock inte klart att det kommer att fortsätta att vara så och man kan föreställa sig att hybridmetoder kommer att växa fram där man kombinerar datorberäkningar och mer icke-beräkningsmässiga metoder. Kaotiska system är ett talande exempel där man från början kan säga att rena beräkningsmässiga metoder måste ha sina begränsningar.

## STRATEGIER

### Diskutera konsekvenser

Generellt bör man vara försiktig med prioriterade områden och riktade insatser då sådant tenderar att försvaga grundprincipen att medelstildelning ska baseras på vetenskaplig kvalitet. Det finns dock några allmänna kommentarer som kan vara befogade i frågan.

Trots att Vetenskapsrådets ansvarsområde är grundforskning i allmänhet så måste rådet ta hänsyn till att det finns skillnader även inom grundforskningen; olika grundforskningsområden är mer eller mindre beroende av stöd från Vetenskapsrådet och en del är totalt beroende av sådant stöd. Konsekvensen är att olika delområdens betydelse förändras på grund av tillgången till medel utan att någon analys alltid görs av om detta är den strategiskt riktiga proportionen mellan dessa delområden. Ett exempel på detta har redan antytts. Den teoribildande delen av numerisk analys har efter hand proportionellt blivit en mindre del av numerisk analys. Det bör rimligtvis ingå i Vetenskapsrådets ansvar att diskutera de strategiska konsekvenserna av denna situation med målet att på bästa möjliga sätt understödja svensk grundforskning. Konsekvensen av en sådan analys bör mycket väl kunna vara att rådet väljer att prioritera strategiskt viktiga områden som inte har andra finansieringsmöjligheter.

Unga forskare, som redan blivit föremål för en riktad satsning, är fortfarande ett strategiskt viktigt område, ännu mer så när Vetenskapsrådet återuppar

finansieringen av postdoktorer efter STINT:s nedläggning av detta program. Vidare är kvinnliga forskare starkt underrepresenterade inom de matematiska ämnena. Det krävs förmodligen en strategisk satsning för att förändra detta.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Stärk den akademiska karriären

Fastän antalet utexaminerade doktorander inom matematikämnen ökar så har också andelen som går vidare i en karriär utanför universitetet ökat. Detta innebär att det absoluta antalet utexaminerade doktorander som väljer att fortsätta med akademisk forskning har minskat. Att fler doktorer väljer en karriär utanför universitetet är en både god och nödvändig utveckling men dessa andra karriärvägar riskerar att helt konkurrera ut den akademiska.

Inom vissa av de matematiska ämnena har detta redan skett. Ett exempel är en forskarassistenttjänst i biostatistik vid Stockholms universitet som trots upprepade försök och kvalificerade kandidater inte kunde tillsättas. Detta tydliggör behovet av att karriärvägen för forskning på universiteten förstärks. Betydelsen av stöd till unga forskare är stor, men även den vidare karriärvägen måste utvecklas eftersom en ung forskare med nödvändighet ser på hela karriären när denne gör sitt val. Ett omedelbart problem är den idag ganska stora gruppen av bevisat kvalificerade forskare – de befordrade professorerna – vars forskningsfinansiering för närvarande är problematisk. På kort sikt innebär detta en förlust för svensk forskning, på lång sikt innebär det en risk för att den akademiska karriärvägen helt enkelt inte kommer att vara tillräckligt attraktiv.

Generellt är den forskande universitetslärarens situation problematisk på grund av de motstridiga krav som ställs. Å ena sidan måste i den nuvarande mycket hårda konkurrensen vetenskapliga resultat produceras i en förhållandevis jämn takt för att möjligheten att få bidrag ska finnas. Å andra sidan finns andra arbetsuppgifter och det ställs (rimliga) krav på att man engagerar sig i undervisning och administration. Av effektivitetsskäl och av andra skäl vore det naturligt att koncentrerat kunna syssla med en av dessa arbetsuppgifter under en tid men kravet på en kontinuerlig forskningsmeritering omöjliggör detta.

Ett problem som är speciellt för de matematiska ämnena är att stora forskargrupper inte alltid är den naturliga forskningsmiljön. Detta gäller kanske framförallt de delar som ligger nära matematiken, som matematik självt, sannolikhetslära, teoribildning inom numerisk analys, med flera. Vissa problem låter sig förhållandevis väl delas upp i delproblem, vilket gör det naturligt att arbeta med hela problemet i en forskargrupp. Andra problem, lika viktiga som de i den



första kategorin, gör dock inte det. Det leder till att en forskargrupp inte är den naturliga arbetsformen för att lösa dem.

Traditionellt har framförallt matematik, men även de andra matematiska ämnena i mindre utsträckning, av det skälet oftast inte varit organiserat i forskargrupper. Detta håller numera i stor utsträckning på att förändras, ofta dock av andra skäl än de rent forskningsmotiverade. Till exempel verkar forskargrupper vara den naturliga formen för forskarhandledning. Det förändrar dock inte det faktum att den mer individcentrerade formen av forskning kommer att fortsätta att vara av stor vikt. Ensamma forskares situation är mer utsatt och problemen förstärks med de ovan diskuterade strategiska problemen.

Slutligen bör nämnas att Institut Mittag-Leffler spelar en mycket betydelsefull roll för forskningen inom de matematiska ämnena. Det ska i sammanhanget nämnas att institutet under senare år har breddat sin verksamhet och kan idag sägas vara ett forskningsinstitut för alla de matematiska ämnena.

Vidare bör också påpekas att internationellt har antalet matematiska forskningsinstitut under de senare åren växt närmast explosionsartat. Det blir en framtida utmaning för Institut Mittag-Leffler att i ett sådant läge behålla sin konkurrenskraft.

# Datavetenskap

## BEDÖMNING

- Datorer finns idag som en integrerad komponent i princip i alla tekniska system överallt i vårt samhälle. Med ökande krav på tillförlitlighet och en stegrad grad av mångfacetterad funktionalitet ställs ämnesområdet inför nya utmaningar och det är i ständigt behov av ny kunskap.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Ständigt nya utmaningar

Datavetenskap omfattar teorier, metoder och principer för specifikation, analys och syntes av funktionalitet för datorbaserade system. Ämnet innefattar även underområden som har stor betydelse för att underlätta interaktion mellan människa och informationssystem. Däribland kan nämnas bildanalys, databasteknik, artificiell intelligens och språkteknologi.

Det finns även angränsande områden med starka datavetenskapliga inslag varav bioinformatik och beräkningsbiologi är viktiga och aktuella exempel. Ämnet innefattar dock ej teorier, metoder och principer för numeriska beräkningar som huvudsakligen sorterar under teknisk matematik. Det innefattar ej heller signalbehandling, kodning och datatransmissionsteori, som hänförs till signaler och system. Gränserna är dock inte alltid tydliga.

Datavetenskapens ökande betydelse i vårt samhälle är allomvittnad. Detta har sin grund i att datorer som ursprungligen användes uteslutande för tekniska och naturvetenskapliga beräkningar och i administrativa system idag finns som en integrerad komponent i princip i alla tekniska system. Med ökande krav på tillförlitlighet och en stegrad grad av mångfacetterad funktionalitet ställs ämnesområdet inför nya utmaningar och det är i ständigt behov av ny kunskap.

## Flera nya företag

Det finns exempel på svensk grundforskning inom flera områden som har lett till stora vetenskapliga genombrott eller tillämpningar. Företagsbildningar såsom Effnet har genom forskning i algoritm- och komplexitetsteori funnit effektiva beräkningsalgoritmer för datakommunikation.

Den tidiga hårdvaruinriktade forskningen i bildbehandling ledde till ett antal bestående företagsbildningar. Under senare år har det skett viktiga svenska insatser inom geometriskt baserade metoder för scenanalys, robotseende och tillämpad bildanalys. Också dessa framsteg har lett till en rad företagsbildningar.

Svensk forskning har bidragit till metoder för att analysera prestanda för datorsystem och har lett till företagsbildningar kring detta, exempelvis Virtutech. Grundforskning kring nya programspråk har lett till industriell utveckling av språk såsom Erlang (Ericsson) och SDL (Telelogic) samt domänspecifika språk som används bland annat på ABB. Inom programverifieringsområdet har framsteg lett till industriellt upptag och företagsbildningar. Svensk akademisk forskning har också bidragit till framtagning av en metod manifesterad i ett verktyg kallat UPPAAL för analys av bland annat realtidsegenskaper för datorsystem inbyggda i tekniska system, exempelvis i bilar. Ett av de första tal-till-tal-översättningssystemen utvecklades i Sverige.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Medvetna satsningar gav resultat

Tack vare de uppbyggnadsprogram som under främst STU/NUTEK:s ledning genomfördes under 1980-talet och en bit in på 1990-talet hade svensk forskning inom datavetenskap redan för tio år sedan flera starka forskarkonstellationer inom en hel del av de datavetenskapliga underområdena. Under de senaste tio åren har medvetna satsningar, främst av SSF men också av EU och TFR, lett till ytterligare konsolidering och expansion. Idag finns forskningsgrupper i den internationella fronten inom i stort sett samtliga underområden.

Stark svensk forskning idag och för tio år sedan finns inom följande områden:

Idag är verksamheten inom dessa områden relativt stor:

- Bildbehandling, datorseende och robotik
- Programsystem (inklusive bland annat programmeringsspråk, kompilator-teknik)
- Programvaruteknik (Software Engineering)

Områden med alltför begränsad verksamhet idag:

- Databasteknik
- Datakommunikation och distribuerade system
- Människa-maskin-interaktion

## UTVECKLINGSTENDENSER

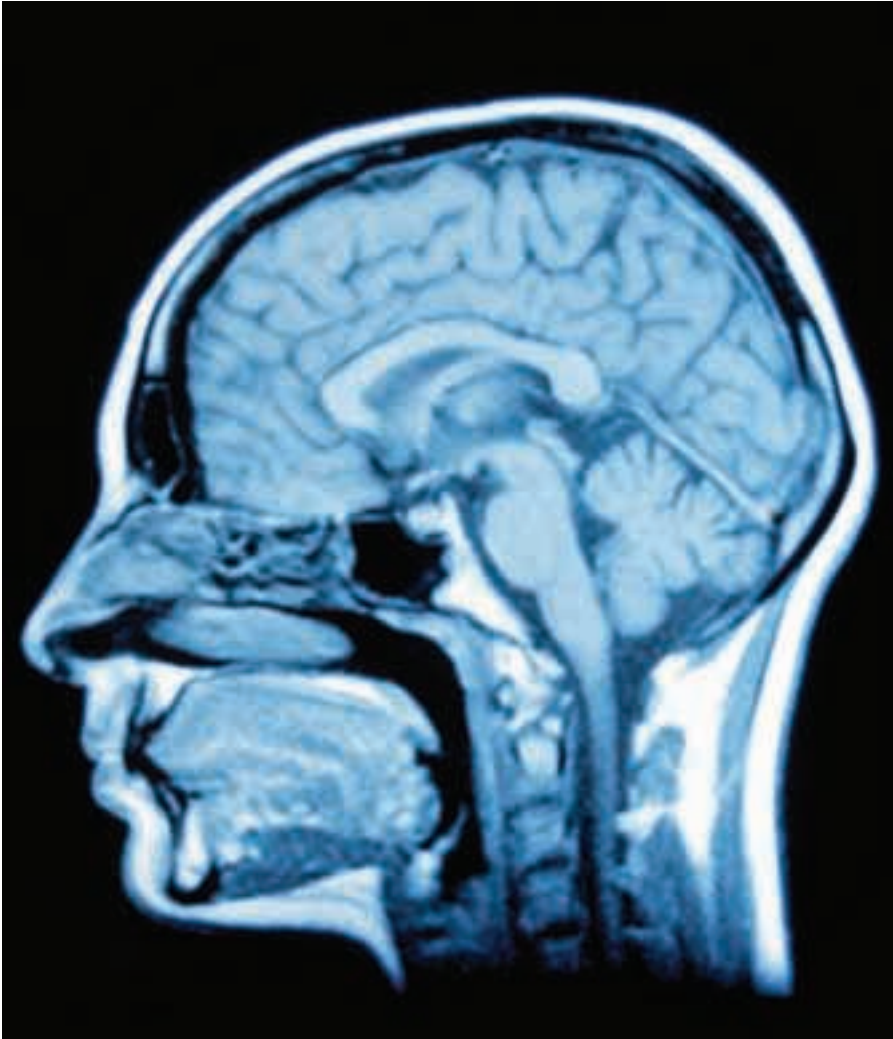
### Viktig del av kunskapsutvecklingen

Den ständigt ökande beräkningskapaciteten hos datorer och genomslaget av Internet har givit datavetenskap en alltmer betydande roll i kunskapsutvecklingen. Detta har varit möjligt på grund av ständiga framsteg inom datakommunikation och distribuerade system samt datorarkitektur.

Utvecklingen har också skapat nya utmaningar inom alla underområden. Inom de centrala områdena, såsom programsystem, programutveckling, algoritm-, beräknings- och komplexitetsteori, har forskningen allmänt belyst metoder för att effektivt kunna specificera, analysera och syntetisera programsystem som uppfyller funktionella krav. En betydande utmaning som bara delvis har belysts är hur man ska kunna hantera den avsevärda komplexitetsökningen i moderna informationstekniska system. Detta problem adresseras ständigt från flera utgångspunkter, såsom förbättrade programspråk för specifikation, effektivare analysmetoder för programverifiering samt programmeringsmetoder såsom utnyttjande av komponentbaserad metodik.

Den alltmer effektiva beräknings- och kommunikationsinfrastrukturen leder alltjämt till nya tillämpningar. Framsteg inom bland annat artificiell intelligens, bildanalys samt språkteknologier har varit drivkrafter bakom det förhållandevis unga underområdet människa-maskin-interaktion. Utmaningar kring hantering och sökning i stora informationsmängder har drivit underområdet databasteknik som är centralt för att hantera den alltjämt ökande mängden tillgänglig information.

Trots många betydande framsteg för att hantera den ökande graden av komplexitet vid syntes av informationstekniska system, utgör *bemästrandet av komplexiteten* en central drivkraft för forskningen inom datavetenskap under de kommande tio åren. Det behövs väsentliga framsteg inom centrala områden som programsystem, programvaruteknik, algoritm-, komplexitets- och beräkningsteori. Ett allt större problem rör dataintegritet, det vill säga hur man undviker att information faller i orätta händer. Området datasäkerhet är styvmoderligt behandlat relativt dess betydelse. Det har kopplingar till underområdena programsystem och programvaruteknik.



*Datorer finns idag som en integrerad komponent i princip i alla tekniska system överallt i vårt samhälle. Med ökande krav på tillförlitlighet och en stegrad grad av mångfacetterad funktionalitet ställs ämnesområdet inför nya utmaningar och det är i ständigt behov av ny kunskap.*

Datavetenskapen ger möjlighet att simulera komplicerade processer som annars är svåra att överblicka. Hjärnan är ett exempel. Idag vet man mycket om olika funktioner i hjärnan men det är fortfarande långt till att förstå hur alla detaljer tillsammans kan åstadkomma rörelser, tankar och känslor. I en datorsimulering kan man se hur olika samverkande delar, t.ex. jonkanaler, nervceller och nervcentra, beter sig tillsammans. En simulering av hur hjärnan fungerar skulle både ge kunskap om ett av naturens mest komplicerade fenomen, men också medicinska tillämpningar och tekniska lösningar där hjärnans arbetsätt kan tjäna som förebild för konstruktionen. Foto: Ina Agency

En annan viktig utvecklingstendens rör den informationstekniska infrastrukturen. *Behovet av högre beräknings- och kommunikationsprestanda* kommer att driva underområdena datakommunikation, distribuerade system samt datorarkitektur.

En tredje utvecklingstendens är *framtida användning av informationstekniken*. Den bristande anpassningen mellan människans förutsättningar och datorns möjligheter har gjort området människa-maskin-interaktion betydelsefullt. Framsteg inom artificiell intelligens, bildanalys samt språkteknologi har öppnat möjligheter inom detta område.

Inom alla dessa områden finns väsentliga utmaningar kvar. En särskild utmaning är hur dessa kan anpassas till människans behov vilket driver utvecklingen inom människa-maskin-interaktion.

## STRATEGIER

### Bred förstärkning

I allmänhet bör alla underområden förstärkas på grund av datavetenskapens relativt begränsade verksamhet och dess behov i framtiden. Om man ska föra fram speciella områden skulle dessa vara: databasteknik, datakommunikation och distribuerade system samt människa-maskin-interaktion.

Satsningar på ökad programkvalitet, det vill säga metoder för att underlätta att framtagna programsystem uppfyller specificerade krav på funktion i vid mening, behöver också ökat stöd. Datasäkerhet, det vill säga teorier och metoder för att förhindra otillbörlig intrång i informationstekniska system, är ett exempel på ett speciellt angeläget delområde.

Högpresterande databehandling har traditionellt stått i fokus för utmaningar inom datavetenskap och bedöms göra så även framledes. Ett aktuellt område är GRID-forskning. GRID-tekniker drar nytta av Internet genom att göra lokala informationsdatabaser globalt tillgängliga och möjliggör nya tillämpningar. Databasteknik är ett exempel på ett datavetenskapligt grundforskningsområde som har kopplingar till GRID-tekniker. Det är av stor vikt att Vetenskapsrådet stödjer sådan grundvetenskaplig forskning och lämnar åt andra finansiärer att stödja de mer tillämpningsmotiverade frågeställningarna kring GRID-teknikerna.

Livsvetenskap skapar många utmaningar inom datavetenskapen. Ett viktigt sådant område är bioinformatik som driver frågeställningar inom bland annat algoritmteori och databasteknik.

## Ungt med små resurser

Datavetenskap är fortfarande ett relativt ungt område. Det får relativt sett mindre fakultetsanslag för forskning än andra discipliner. Därför är det en överhängande risk att datavetenskaplig grundforskning får för lite resurser jämfört med mer tillämpad forskning, som genom många riktade satsningar från SSF och NUTEK/Vinnova får betydligt mer. Det är av vikt att ge långsiktigt och stabilt stöd för en fortsatt uppbyggnad av den datavetenskapliga grundforskningen i Sverige.

# Signaler och system

## BEDÖMNING

- ▶ Området signaler och system har en förhållandevis stor mängd tvärvetenskaplig forskning, där två eller flera forskargrupper samverkar. Det har satsats speciellt på sådan forskning, men satsningen måste stärkas långsiktigt för att stödja internationellt konkurrenskraftig nyskapande forskning.
- ▶ Biologiska system kan bli det nya stora tillämpningsområdet för signaler och system efter telekommunikation. Den ökande datorkraften, såväl som smartare beräkningsmetoder, kommer att möjliggöra fortsatt nytta av avancerade statistiska metoder. Signalbehandling och reglerteknik har förutsättningar att ge avgörande bidrag till förståelse och hantering av dynamiska förlopp i biologiska och medicinska tillämpningar.
- ▶ Förmågan att hantera system av hög komplexitet blir allt viktigare i såväl biologiska som industriella tillämpningar. Generella metoder för decentralisering och samverkan mellan mindre moduler bör därför prioriteras.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Går att tillämpa inom flera områden

Signaler är oftast fysikaliska storheter från mätgivare (till exempel elektrisk spänning, elektromagnetiskt fält, tryck), men kan också vara mer abstrakta storheter såsom ekonomiska variabler. System är i detta sammanhang i allmänhet matematiska och dynamiska samband mellan signaler. Ämnesområdet signaler och system har en gemensam metodbas i sådana matematiska representationer. Forskningen har till stor del inte någon specifik tillämpning, utan behandlar generell ingenjörsvetenskap med en mängd tillämpningsområden. De industriella tillämpningarna kan indelas i följande tre områden:



1. Överföring av information mellan mottagare och sändare: kommunikation. Modern forskning handlar ofta om digital, trådlös överföring av tal, multimedia och data. Även trådburen kommunikation ingår, till exempel optiska nätverk. Som industriella exempel kan nämnas mobiltelefoni, trådlösa lokala datanät och framtida kommunikation mellan fordon samt mellan fordon och vägsida.

2. Styrning och reglering av dynamiska system. Exempel är processreglering (bland annat kemiska processer och pappersproduktion), styrning av olika funktioner i farkoster samt styrning av tillverkningsprocesser (automation).

3. Filtrering och tolkning av mätsignaler och bilder. Dessa signaler ingår ofta i ett tekniskt system, till exempel radar, telekommunikation (bland annat tal och utsignal från mottagarantenn), sonar, medicinteknik (bland annat EKG och EEG). Syftet kan vara att utvinna kvantitativ information, till exempel avstånd och riktning till ett objekt, eller att detektera och klassificera signaler för diagnos och beslutsfattande.

Inom området kommunikation har svenska forskare varit ledande inom den modulationsteknik (CPM) som används i GSM-systemet. Viktiga bidrag gjordes även till 3G-systemet (CDMA). Inom reglerteknik var svenska forskare ledande i utvecklingen av adaptiv och självinställande reglering och tekniken salufördes via flera företag. Svenskutvecklad mjukvara för modellering och identifiering har fått mycket stor internationell spridning, såväl akademiskt som industriellt. Under de senaste årens utveckling av så kallad MIMO-teknik (*Multiple Input Multiple Output*) för trådlös kommunikation kom ett vetenskapligt genombrott inom signalbehandling. Genom att använda flera antenner på såväl sändare som mottagare kan den överförda mängden information ökas radikalt. Resultatet bygger på forskning inom kodningsteori och adaptiva antenner, där svenska forskare har varit långt framme.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Stark framväxt sedan 1960-talet

Den svenska forskningen inom signaler och system står sig mycket väl i ett internationellt perspektiv. Tidiga ledargestalter inom reglerteknik och telekommunikationsteori har sedan 1960-talet bidragit till en stark framväxt. Det yngre ämnesområdet signalbehandling har vuxit fram från denna bas sedan mitten av 80-talet. Det är uppenbart att svensk systeminriktad industri såsom Ericsson och ABB har gynnats av Sveriges starka ställning inom området signaler och system.



*Signaler och system har en förhållandevis stor mängd tvärvetenskaplig forskning. Biologiska system kan bli det nya stora tillämpningsområdet för signaler och system efter telekommunikation.*

Bakom mängder av produkter i vårt samhälle – mobiltelefoner, radar, mätinstrument, datorer, etc. – finns en massiv grundläggande forskning om signalbehandling som har gjort dessa uppfinningar möjliga. Särskilt inom trådlös kommunikation sker ett flöde av signaler och koder från avsändare till mottagare där signalerna översätts till information som tal, ljud eller bild. Exempelvis skickar en radar signaler till en mottagare och forskningen försöker utvinna så mycket information ur signalerna som möjligt. Signalerna översätts till bilder där sten ska gå att skilja från metall, ett flygplan ska kunna identifieras eller en bil skiljas från en annan. Forskningsresultaten är bl.a. nya algoritmer och beräkningsmetoder som förbättrar behandlingen av signalerna så att mer information kan uttolkas.

Foto: Morten Heiselberg – Windh

## Tre starka områden

Den största expansionen under det senaste decenniet har skett inom signalbehandling, där ett flertal nya professurer har inrättats. Även telekommunikation har gått starkt framåt, mycket tack vare det SSF-finansierade programmet PCC (*Personal Computing and Communication*). Programmet fyllde framgångsrikt gapet efter NUTEK:s program inom telekommunikation. Reglerteknik har behållit sin tidigare vetenskapligt starka ställning. Det har till och med även skett en expansion, främst med hjälp av SSF-finansierade program. Speciellt stark forskning finns/fanns inom följande delområden:

1. Kommunikation. Traditionellt har vi haft en världsledande forskning inom telekom och signalöverföringsorienterade ämnen samt inom kommunikationsteoriområdet, till exempel kodning och modulation. Under det senaste decenniet har svensk forskning även stått sig stark vad gäller design av radiosystem och radionät, vilket har varit avgörande för de stora industriella framgångarna inom mobilsystemen. Sverige är starkt inom den snabbt framväxande tekniken med flera sändar- och mottagarantennor. Det handlar om adaptiva antenner och MIMO-teknik, vilket gränsar till signalbehandling. Speciellt inom trådlös kommunikation deltar svenska forskare i stora EU-projekt.

2. Reglerteknik. Världsledande svensk forskning finns inom adaptiv och robust reglering samt systemidentifiering. På stark frammarsch är automation/hybrida/inbyggda system och processreglering över nätverk, särskilt inom fordonsindustrin.

3. Signalbehandling. Under de senaste tio åren har en världsledande forskning inom statistisk modellbaserad signalbehandling byggts upp. Sverige är även starkt inom den snabbt framväxande tekniken med flera sändar- och mottagarantennor (enligt ovan). Adaptiva antenner för telekommunikation och radar är speciellt starka tillämpningsområden.

Andra områden är sämre representerade:

- Forskningen kring kommunikationsnät generellt och mobila tjänster har inte nått samma framgång som den inom transmissionsteknik. De senaste åren kan dock en viss uppryckning skönjas inom nätverksorienterad forskning.
- På senare år har reglertekniska metoder för analys och styrning av mikrobiologiska system införts i växande omfattning utomlands. Här finns en stor men ännu outvecklad potential även i Sverige.
- Ämnet signalbehandling har i huvudsak vuxit sig starkt under de senaste tio till femton åren. En svaghet som ofta påpekas är den praktiska realiseringen

av metoder och algoritmer i digitala kretsar (DSP-chip, FPGA eller ASIC). Mer krävande tillämpningar leder till mer komplicerade algoritmer enligt önskan att hålla till exempel effektförbrukningen nere. Ett fåtal forskargrupper har attackerat gränsområdet under senare år med viss framgång.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Telekommunikationens utveckling en explosion

Forskningen inom telekommunikation har bokstavligen exploderat internationellt under det senaste decenniet. Det kanske mest slående genombrottet är så kallad turbo-kodning. Med hjälp av denna teknik kan mycket komplicerade koder implementeras praktiskt, vilket innebär att man kan komma mycket nära den så kallade Shannons gräns för kapaciteten hos ett kommunikationssystem. En stor del av forskningen är inriktad på tredje generationens system för mobilkommunikation (3G) och senare även 3.5G- och 4G-system. En trend de senaste åren har varit att ta ett större grepp om kommunikationssystemen, och inte bara betrakta enskilda komponenter för sig. Att analysera och optimera på en sådan nivå kräver dock betydligt större forskningsinsatser.

### Mer komplexa system

En viktig utveckling inom reglerteknik är det kraftigt ökade användandet av avancerade matematiska metoder för dimensionering av regulatorer. Utbytet har varit ömsesidigt – i vissa fall har även den ”rena” optimeringsteorin förstärkts av reglertekniska forskare. Matematiska verktyg har även spelat en viktig roll i utvecklingen av verktyg för modellering och simulering av komplexa system. Så kallade *subspace*-metoder för systemidentifiering har blivit var mans egendom, vilket har gjort det möjligt att hantera fler variabler och mer komplexa system inom systemidentifiering. Under det senaste decenniet har även delområdet hybrida system/automation betonats, delvis med utnyttjande av datavetenskapliga metoder. Tillämpningar inom fordonsindustri och kommunikationssystem har vuxit starkt och bidragit med nya problemformuleringar för formella system.

Inom signalbehandling har utvecklingen de senaste tio till femton åren gått från att vara en ”trollerilåda” till att vara ett mer systematiskt verktyg för att modellera och analysera signaler. En viktig komponent har varit att utnyttja statistiska modeller, dels för att avgöra till exempel hur noggrant man överhuvudtaget kan bestämma ett objekts position, dels för att finna rimligt komplicerade approximationer av den optimala lösningen. Under de senaste tio åren har fler signalbehandlare arbetat med problem hämtade från mobila kommunika-

tionssystem. ”Blinda” metoder och multiantennsystem är exempel på delområden där stora insatser har gjorts. Det förra handlar om att minimera, eller helt eliminera, behovet av att skicka känd information, medan det senare syftar till att minska störningsnivån, öka kapaciteten samt minska den utsända effekten.

## Framtida generationer

En viktig tendens de kommande tio åren är utvecklingen av sensornätverk, en teknik som spänner över hela området. Användningsområdena kan variera från nätverk av akustiska sensorer i militära tillämpningar till kommunicerande sensorer i reglersystem. En mer specifik utveckling inom kommunikation är att samoptimera en större del av kommunikationskedjan. Fokus förflyttas naturligt till kommande generationers behov av högre datatakt och större flexibilitet. Redan för 4G kommer kostnaden att spela en större roll.

Inom reglerteknik kommer trenden mot ökad komplexitet i tillämpningarna att fortsätta. Detta ställer högre krav på systematiska beräkningsmetoder och leder till en ökad efterfrågan på decentraliserad reglering. Teorin för det senare är ännu förhållandevis outvecklad, men har stor potential.

Relationen till kommunikationsnätverk är tydlig och liknande problem dyker upp i exempelvis biologiska system. Samspelet hybridssystem/automation/datalogi kommer att fortsätta att utvecklas, med tillämpning i bland annat verkstads- och tillverkningsindustri. Olinjär reglerteknik och signalbehandling har delvis karaktäriserats av att vara antingen matematisk och opraktisk, eller ad hoc och tilläpplad. Kanske tiden snart är mogen för att systematiska angreppssätt ska bli mer användbara.

Andelen signalbehandlare med inriktning mot trådlös kommunikation kommer sannolikt att minska under den kommande tioårsperioden. Bioinformatik kan bli det nya stora tillämpningsområdet; utvecklingen de senaste tre åren tyder på det. Den ökande datorkraften, såväl som smartare beräkningsmetoder, kommer att driva ett fortsatt nyttiggörande av avancerade statistiska metoder. Såväl bioinformatik som kommunikation och radar bjuder på krävande tillämpningar.

## STRATEGIER

### Satsa rätt

Strategiska prioriteringar kan göras på helt olika sätt, med satsningar på områden där vi idag har potential eller redan är starka, eller med satsningar på områden som är svaga och underrepresenterade. Med de begränsade resurser som totalt står till Vetenskapsrådets förfogande bör den förra strategin väljas.

Orsaken är att satsningen annars inte blir tillräckligt effektiv. Vetenskapsrådet bör generellt inte göra särskilda prioriteringar eller satsningar inom något ämnesområde. Det är bättre att låta ansökningarnas kvalitet avgöra, med viss hänsyn till geografisk och ämnesmässig spridning. Om något ändå ska göras kan sensornätverk övervägas. Satsningen på informationsteknik har varit framgångsrik och bör fortsätta ett par år till.

## Vill förnya

Möjliga nya insatsområden är följande:

- Bioinformatik med breddning mot signaler och system och mot matematisk statistik.
- Fordonssystem, såväl inom aktiv säkerhet som inom mer traditionell forskning kring drivlinan, där det finns ett stort behov av förnyelse som kräver samverkan mellan flera områden, speciellt maskinteknik, signaler och system samt datavetenskap, men även till exempel fysikalisk kemi.
- Området tillämpad matematik där signaler och system är en utmärkt arena för fruktbara samarbeten mellan matematiker och ingenjörer. Tidigare satsningar har lett till sådana samarbeten, men det behövs fortsatt uppmuntran.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Likriktning vore olyckligt

Signaler och system har en förhållandevis stor mängd tvärvetenskaplig forskning, i den meningen att man är beroende av att två eller flera forskargrupper samverkar. Det har gjorts satsningar på sådan forskning, men i praktiken är det mycket svårt att i konkurrens få medel till nyskapande forskning. Den minskning av fakultetsmedlen som har skett de senaste tio till tjugo åren riskerar därför att likforma svensk forskning på ett olyckligt sätt. Även grundforskningen är drabbad. Där spelar Vetenskapsrådet en betydande roll även om tilldelningen är oproportionerligt låg i förhållande till tillgängliga medel för mer tillämpad forskning.

# Teknisk mekanik

## BEDÖMNING

- ▶ Den tekniska mekaniken kan betecknas som ett moget område som har funnits länge. Området är viktigt för svensk industri och samhället i övrigt.
- ▶ Inom ämnesområdet sker en utveckling av teori, modeller och analysverktyg, vilket gör att det fungerar som en motor för utveckling av beräkningsmetodik och tillämpad matematik. Detta är ett viktigt element i den starka utvecklingen mot mer tvärvetenskapliga angreppssätt som finns inom området.
- ▶ En brett riktad satsning på teknikvetenskaplig grundforskning vore önskvärd.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Ingenjörskonstens grunder

Den tekniska mekaniken omfattar traditionellt de vetenskapliga grunderna för ingenjörskonst: utformning, konstruktion, materialval och tillverkning. Livslängd, hållfasthet, funktion, buller, strömning, miljöeffekter, drift och underhåll både för komponenter och tekniska system är exempel på fenomen som beskrivs, beräknas och/eller mäts. Simulering och optimering av funktion, av resurser samt av tekniska system och komponenter blir allt viktigare. Miljöfrågor såsom återanvändning efter skrotning liksom människa-maskin-aspekter är också viktiga frågor.

En kraftig breddning har skett de senaste åren. Ett gott exempel är pappersindustrin där hållfasthetsteknisk och strömningsmekanisk forskning under de senaste åren har bidragit till att utveckla förbättrade pappersprodukter. Den snabba utvecklingen av datorer och beräkningsprogram samt ny experimentell metodik och teknik har öppnat helt nya forskningsområden inom både nya och

gamla tillämpningsområden. Det har blivit möjligt att förstå och beskriva komplexa system och strukturer som tidigare enbart har beskrivits erfarenhetsmässigt.

## Medicin och biologi

Viktiga framtida forskningsområden inom teknisk mekanik är medicinska och biologiska applikationer (biomekanik). Organs funktion och livslängd, proteser och implantat, mikroelektromekaniska system (MEMS), optoelektroniska system som sensorer, aktuatorer och motorer, miljötekniska frågor som buller, minimering av utsläpp och energiomvandlingsprocesser är också viktiga framtidsområden.

Forskningen kommer även fortsättningsvis att fokusera på grundläggande frågor som berör basindustrin såsom fordon/farkoster av olika slag, metallindustri, skogsindustri, verkstadsindustri och elektromekanisk industri. Beräkningsmetoder, avancerad metodik för reducering av ljud och vibrationer, till exempel från verktyg, och koppling mellan ljudvibrationer och människor (ljud- och vibrationskvalitet) blir allt viktigare.

Området teknisk mekanik karaktäriseras också av en stor del tvärvetenskaplig och tvärteknisk forskning. En stark grundläggande forskning har varit basen för att knyta kontakter med kemi, materialvetenskap, processteknik, miljöforskning, meteorologi, klimatforskning, förbränningsforskning, bioteknik, med mera. Denna framgångsrika metodik vilar oftast på kombinationer av avancerad och storskalig beräkningsteknik och fysikalisk modellering tillsammans med förfinade experiment. Den beräkningsinriktade forskningen, inom till exempel strömningsområdet, utnyttjar de största idag existerande forskningsdatorerna. Experiment utgör viktiga inslag för att förbättra modeller och öka förståelsen för enskilda förlopp och tekniska system.

## Deformation och rörelse

Sammanfattningsvis kan sägas att mekanik är det vetenskapsområde som beskriver deformation och rörelse (även vågrörelser) hos materiella kroppar (solider, fluider och gaser). Mekanikens tekniska tillämpningar är mycket omfattande och finns idag inom mycket skilda områden från verkstadsindustrin till medicinområdet. Benämningen teknisk mekanik innefattar både mekanikens vetenskapliga grunder och dess tekniska och andra tillämpningar.

Svensk forskning har lämnat många viktiga bidrag inom den tekniska mekaniken. Inom hållfasthetsläran deltog svenska forskare som pionjärer i utvecklingen av brottmekaniken. Detta har fått mycket stor betydelse för konstruktion och utveckling av mekaniska komponenter och strukturer. Ett flygplan byggs exempelvis idag med utgångspunkt från kunskap om hur sprickor



tillväxer under belastning. Inom topologioptimering har svenska forskare tagit fram metoder som redan används kommersiellt och ytterligare genomslag torde komma. Topologi är studiet av geometriska objekt där hänsyn endast tas till form. Grundläggande forskning inom tribologi har bland annat lett till en ny typ av dämpare i jetmotorer och nya mer miljövänliga smörjmedel. Tribologi är läran om smörjning, friktion och mätning.

Ett av de stora internationella genombrotten inom strömningsmekanikområdet är möjligheten att med simuleringsprogram idag direkt kunna beräkna detaljerade tidsberoende strömningsmönster i turbulenta strömningsfall. Detta har nära koppling både till algoritmutveckling och till den starka utvecklingen av datorkapacitet. Forskningen i Sverige har inom detta område haft en stark ställning och varit drivande i delar av denna utveckling.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Tekniska mekaniken visar styrka

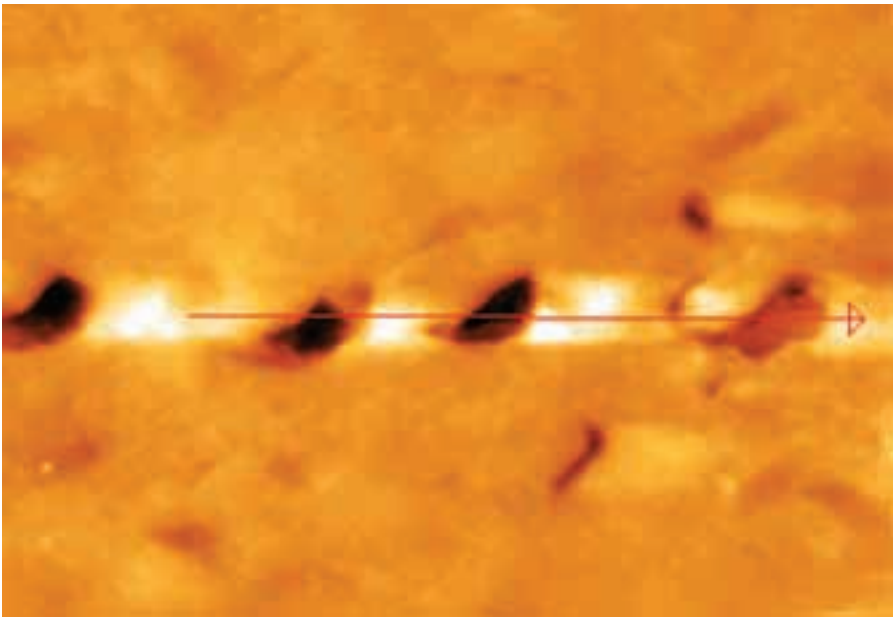
Den tekniska mekaniken står sig väl i en internationell jämförelse. Den är och har varit ett styrkeområde inom svensk teknisk forskning och har god renommé med tydlig styrka inom strömningsmekanik, kontrollteknik, kontaktmodellering, signalutbredning, brott- och materialmekanik, samt delar av akustiken. Svenska forskare publicerar sig regelbundet i de ledande facktidskrifterna i området. De uppnådda framstegen är mycket viktiga för områdets utveckling liksom för Sveriges konkurrenskraft och sysselsättning.

Det finns starka traditioner av forskning på en internationellt slagkraftig nivå inom hållfasthetsläran, till exempel utmattning och brottmekanik, vid ett antal av våra tekniska högskolor och universitet. De experimentella delarna av materialmekaniken och hållfasthetsläran behöver dock förstärkas idag.

### Mer grundforskning behövs

Området systemdynamik är stort internationellt, men den grundvetenskapliga forskningen i Sverige var relativt liten för tio år sedan. De satsningar som har gjorts av TFR och Vetenskapsrådet inom området har hållit hög klass, men området är fortfarande något svagt.

Man kan jämföra med bredden i ett land som Danmark där optimering och design är större än analysdelen på mekanikinstitutioner. I Sverige finns emellertid spetskunskap inom optimering och design. Utvecklingen av robotiken och robotar liksom studiet av mekanismer för till exempel verkstadsindustrin har varit stark under tioårsperioden. Biomekaniken är under stark utveckling både internationellt och hos oss, men är ännu av relativt blygsam omfattning i Sverige.



*Den tekniska mekaniken kan betecknas som ett moget område som har funnits länge. Området är viktigt för svensk industri och samhället i övrigt.*

Livslängden hos kugghjul och rullningslager (bilden) förkortas av skador som uppkommer när partiklar glider och nöter mellan två kontaktytor. Bilden visar ett spår efter en partikel som skadat ytan på rullningslagrets bricka. Spåret är bara en hundraedels millimeter brett, men små skador kan orsaka problem i stora maskinelement. Forskarna gör modeller för hur sådana skador uppstår och hur de kan förhindras. Foto: Rickard Nilsson

Forskning på maskiner och maskinelement, inklusive systembyggnad och utformning av komplexa system och kontaktmekanik, var i en internationell jämförelse starkare för tio år sedan. En del av området har dock utvecklats mycket väl, nämligen tribologin.

Kontaktmekaniken, till exempel simulering/utformning och beräkning av deformation vid krock av bilar är ett annat område där svensk forskning har legat och fortfarande ligger väl framme.

För tio år sedan var forskningen inom design/konstruktion svag i landet. SSF har stött industrirelevant tillämpad forskning inom detta område bland annat genom Endrea, så verksamheten är idag på en god internationell nivå. Dock saknas fortfarande grundläggande forskning inom området.

Forskningen i Sverige inom strömningsmekaniken har byggts upp under en längre tid och har nu en stark internationell ställning inom ett antal underområden. Simulering och modellering av turbulenta strömningar (inklusive övergången från ordnad, laminär strömning till virvelintensiv, turbulent strömning) är ett styrkeområde idag och var så även för tio år sedan. Breddningen av kompetensen inom strömningsforskningen i Sverige kan ses också genom etablering av spetskompetens inom regler- och kontrollaspekter på strömning och inom icke-traditionella områden såsom strömning i processtekniska sammanhang (pappersteknik, materialprocesser, med mera), flerfasströmning och förbränning. Utvecklingen är stark inom området och flera starka institutioner bidrar till detta förhållande. Även här bör dock de experimentella delarna förstärkas och en viss sådan förbättring pågår också. Eftersom dessa delar är kapitalkrävande bör samordning ske över landet.

Området teknisk akustik har stärkt sin internationella ställning under sista tio åren. Numeriska metoder har utvecklats, simulering och modellering har förbättrats och vi har ett antal väl utrustade laboratorier vid de tekniska högskolorna. Idag sacker dock byggnadsakustiken efter trots att den var av god kvalitet för tio år sedan.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Närmar sig andra områden allt mer

Utvecklingstendenserna beskrivs här under fem huvudsakliga underområden:

- Hållfasthetslära inklusive materialmekanik och strukturmekanik
- Systemdynamik inklusive mekanismer, robotik och biomekanik
- Maskiner, maskinelement inklusive systembyggnad, utformning av komplexa system och kontaktmekanik (till exempel tribologi, nötning)
- Strömningsmekanik inklusive flerfasströmning och förbränning
- Teknisk akustik

Utvecklingen inom hållfasthetsläran har gått mot ökad komplexitet liksom mot utveckling av noggrannare modeller av de fenomen som studeras. Detta har bland annat blivit möjligt genom den snabba utvecklingen av datorkraften. En breddning av hållfasthetsområdet, liksom för hela den tekniska mekaniken, har skett mot nya branscher, såsom papper, trä och kompositer. Intresset för och kunskaperna om fenomen på mikro- och nanometerskalorna har ökat starkt. Kopplingen till materialvetenskapen har också ökat. Ett ökat intresse för olinjäriteter liksom för optimering av strukturer och processer kan noteras.

Mättekniken, bland annat den optiska mättekniken, har utvecklats starkt. Framtiden präglas av att närmandet mot fysik, kemi liksom materialvetenskap kommer att öka i många frågeställningar och breddningen mot nya tillämpningsområden fortsätter. Kopplingen till biologiska och medicinska tillämpningar fortsätter också att öka. Mekaniska modeller för medicinska och biologiska system har stor potential.

Design av nya material och en matematisk/fysikalisk beskrivning av nya material blir verklighet. Intresset för kopplade fenomen, som beskrivning av piezoelektriska, magnetostriktiva och smarta material, kommer att öka. Exempel är kopplingen mellan elektriska, magnetiska och temperaturinducerade fält som påverkar det mekaniska uppförandet. Behovet av till exempel materialparametrar kommer att ställa höga krav på utvecklingen av mättekniken. Det gäller linjära såväl som icke-linjära parametrar som beskriver nya material, inte minst vid extrema förhållanden som i kallt klimat, extremt höga temperaturer, vid snabba, kortvariga belastningar och inom mikroområdet.

Det viktigaste inslaget inom systemdynamiken är att det mångvetenskapliga tänkandet har ökat. Många av de system som behandlas har inslag från många områden såsom mekanik, reglerteknik, kemi, sensorer, tribologi och ytkemi. Vidare utvidgas tillämpningsområdena och man söker aktivt nya tillämpningar, till exempel inom biomekaniken. Optimering har blivit ett centralt begrepp.

Det finns starka tendenser till tvärvetenskaplighet med fokus på tillämpningar av ingenjörformuleringar inom de biologiska vetenskaperna. Inom biomekaniken motiveras detta bland annat av en starkt åldrande befolkning i industriländerna med påföljande strukturella förändringar i skelett och muskulatur. Det finns också en viktig koppling till utveckling av motorik hos barn med neurologiska skador. Inom systemdynamik betonas också hybrida system genom simulering, modellering och analys. Optimering, design, mångvetenskapliga problem inom nya tillämpningsområden, såsom nanoteknologi och biomekanik kommer att utvecklas.

## Simulera mera

Inom området maskiner och maskinelement har det under den senaste tioårsperioden blivit möjligt att bättre simulera komplexa problem på ett mer relevant sätt. Detta har bland annat krävt bättre och mer fundamentala modeller för olika fenomen, vilket har lett till en intensifiering av fenomenforskningen och till ökade kontakter med andra vetenskapsområden.

Internationellt sett har man gått mot ökad simulering, men också minskad experimentell verksamhet. Datateknik och elektronik har haft en stark inverkan på alla områden. Genom integration av datorer och elektronik, givare och ställodon med mekaniska strukturer har nya och bättre funktioner kunnat skapas (mekatronik).

Komplexa flexibla produkter såsom fordon kommer att byggas upp av extremt integrerade autonoma ”intelligenta” moduler. ”Prova innan du bygger”, det vill säga simulering eller imitering av tänkta produkters egenskaper och prestanda blir allt viktigare, bland annat beroende på att allt fler produkter byggs upp som produktfamiljer med hög grad av möjligheter till kundanpassning. Metoder för att åstadkomma miljömässigt hållbara konstruktioner liksom mekaniskt robusta konstruktioner kommer att utvecklas avsevärt.

Under den senaste tioårsperioden har beräkningsmetoderna inom strömningmekanik genomgått en revolutionerande utveckling. Genombrott har skett i så kallad direktsimulering av turbulens som har öppnat helt nya vägar för att studera den grundläggande fysiken. Detta har gjort att de approximativa fysikaliska modeller för turbulensens inverkan på strömningen (som används i ingenjörsmässiga beräkningsprogram) har kunnat testas till en detaljgrad som förut varit helt omöjlig. I sin tur har detta lett till en stark utveckling av matematiska modeller, inte bara för turbulensen i sig, utan också för relaterade fenomen såsom värmeöverföring, förbränning och skalär spridning av föroreningar.

Beräkningsprogram hittar idag snabbt till industriella tillämpningar. Även den experimentella provningen har förfinats och använder alltmer metoder som ligger nära forskningsfronten. Därmed sker också ett flöde av forskarkompetent personal från den akademiska forskningsmiljön till avnämarna. På den experimentella sidan har framförallt de optiska mätmetoderna utvecklats starkt, speciellt för samtidig mätning av hela fält av hastigheter, men också av andra storheter (bland annat av intresse i förbränningsammanhang).

## Strömning viktig roll i tillämpningar

Utvecklingen inom strömningmekaniken internationellt och i Sverige går mot en applicering av idéer och metoder från grundläggande strömningforskning

till ett allt vidare spektrum av tillämpningar. Gränsöverskridande metoder och arbetssätt blir allt vanligare. Flerfasströmningsaspekter kan komma att spela en växande roll i utvecklingen av produktframtagningsprocesser inom bioteknik och läkemedelsindustri under den kommande tioårsperioden.

Nya tillämpningar mot mikroströmningsområdet, biomedicinska och biotekniska problemställningar, miljö- och klimatrelaterade strömningsproblem tillkommer. Bioströmningsmekaniken med både gas och vätskeströmningar berör bland annat effektivare medicineringsmetoder. Mikroströmning kommer exempelvis in i kylning av mikroelektronik. Användningen av så kallade mikroelektromekaniska system (MEMS) har i internationella och svenska forskningsprojekt börjat appliceras bland annat för strömningskontroll och i biomedicinska sammanhang. Inom strömningsmekaniken utvecklades exempelvis den tryckgivare som används vid förenklade bypassoperationer (ballongsprängning).

Den övergripande gemensamma faktorn är i dessa sammanhang att arbetsverktygen och de grundläggande idéerna börjar uppnå en hög grad av generalitet. De kan på ett fruktbart symbiotiskt sätt kombineras med motsvarande inom andra vetenskaps- och tillämpningsområden för att bryta ny mark i nya gränsområden. Kombinationen av stark utveckling av både beräkningsverktyg och nya experimentella metoder har här varit drivande.

Under kommande år väntas en fördjupad och generaliserad matematisk modellering av komplexa processer, såsom i kopplingen mellan förbränning och strömning eller materialprocesser och strömning. Utveckling av framtidens mer miljövänliga förbränningsprocesser beror mycket på denna typ av beräknings- och modelleringsmöjligheter, men också på nya avancerade experimentella mätmetoder. Strömningsmodellering med flerfasaspekter är även en viktig ingrediens vid utveckling av ny bränslecellteknik. Att med tidsberoende stora simuleringar i framtiden beräkna generering av ljud och buller i fordonsrelaterad strömning öppnar nya designmöjligheter för framtiden. Vi kan idag skymta de första stegen just i denna utveckling.

Strömningskontrollmetoder i kombination med idéer från regler tekniken och mer avancerade beräkningsmetoder samt signaler från avancerad mikro-sensorteknik kommer att öppna många nya designmöjligheter inom flera industriella sektorer. Den starka utvecklingen av simuleringstekniker i kombination med avancerad matematisk modellutveckling är också på väg att ge betydligt bättre predikteringsmetoder inom områden såsom meteorologin.

## Smarta material

I mångt och mycket liknar utvecklingen inom den tekniska akustiken den inom strömningsmekaniken. Beräkningsmodellerna och simuleringstekniken har

förfinats. Den experimentella utvecklingen med modalanalys, SEA-metoder (statistisk energianalys), skannande LDV (*Laser Doppler Vibrometri*) har gått snabbt framåt.

Vi har fått en starkare fokusering på beräkningsmetoder, ljudalstringsmekanismer, användning av smarta och lätta material och på konsekvenserna för ljud och vibrationer. Utveckling och användning av smarta material inom akustiken finns till exempel inom bullerbekämpning, med kombination av ljud- och vibrationsdämpande åtgärder med andra intelligenta system (till exempel hjulupphängning + vibrationsdämpare + styrning och reglering på ett smart sätt). Av stort intresse är ljudalstringsmekanismer som strömningsljud och rulljud.

Rent allmänt fortsätter intresset att öka för nya smarta material, liksom för traditionella material som trä och papper. Ökad beräkningskapacitet och utveckling av mjukvaror inom till exempel fluid-, akustik- och systemdynamikområdet gör modellering, simulering, optimering och analys av många mekaniska och andra system till mer vardagliga rutiner.

Tvärtekniska samarbeten mellan till exempel materialvetenskap och materialmekanik eller maskinelement och materialmekanik ökar i antal och betydelse. Det gäller också mångvetenskaplig forskning, till exempel mellan systemdynamik, reglerteknik och fluidmekanik. Det förväntas också bli en ökad teoretisk och experimentell verksamhet inom mikromekanikområdet, nanoområdet och biomekanikområdet. Dessutom blir det en utökad användning av optisk och optoelektronisk mätteknik inom de flesta delområden inom den tekniska mekaniken.

## STRATEGIER

### Minimekanik ger djupare kunskap

Exempel på mycket viktiga delområden, utan rangordning, är följande. Biomekaniken attraherar ett snabbt växande intresse och bör prioriteras. Den experimentella mekaniken, en viktig del av verksamheten inom alla subområden av den tekniska mekaniken, är en förutsättning för utveckling och bör prioriteras. Nano- och mikromekaniken är också viktiga komponenter för att vi ska uppnå en djupare fysikalisk förståelse av de grundläggande fenomenen. Även här är experimentell teknikutveckling en nödvändig del, men också en samverkan med andra vetenskapsområden som till exempel materialvetenskap, fysik och kemi.

Design av nya material, kopplade fenomen och deras beskrivning och utveckling av smarta material är andra viktiga områden. En bred verksamhet inom strömnings- och akustikområdet bör eftersträvas. Kompetensen inom moderna beräkningsmetoder och modellering av komplexa strömningsfenomen (inklu-

sive flerfasaspekter) bör stödjas. En fortsatt utveckling av moderna experimentella metoder bör också stödjas, speciellt där sådan verksamhet sker i kombination med beräknings- och modelleringsverksamhet, gärna i konstellationer med flera forskningsgrupper involverade. Gränslandet mellan teknisk mekanik och grenar av biokemi, till exempel bioteknik som läkemedelsframställning, är framtidsområden där satsningar bör stödjas.

Inom akustiken bör satsningar ske för att lösa ljud- och vibrationsproblem i vår miljö. De problem som redan finns med buller är stora. Kraven på en hållbar teknisk utveckling är välmotiverade. Vidare finns de traditionellt viktiga områdena för svensk basindustri, exempelvis skog, mineral, processindustri, energiomvandlande industri och mekanisk industri. Dessa områden är fortsatt mycket viktiga. Bara att försörja den delen med kompetent, välutbildad, forskarutbildad och annan teknisk personal i tillräcklig grad är en stor utmaning som kräver forskningsstöd till våra institutioner. Eftersom utbildningen av civilingenjörer och tekniska doktorer vardera har en processtid på cirka 4,5 till 5 år bör alltför kortsiktiga lösningar undvikas.

## Mer inomvetenskaplig forskning

Stödet till unga forskare behöver öka. En kärnfråga för Sveriges framtida konkurrenskraft är om området även i fortsättningen förmår attrahera och utbilda tekniskt begåvade ungdomar av båda könen. Området har ett stort underskott på kvinnliga forskare. För att öka andelen kvinnliga forskare är en möjlighet att öronmärka medel till excellenta kvinnliga doktorander så att de fortsätter som postdoktorer. Därför får inte programmen/projekten vara för korta. Medel för att understödja och bygga upp starka forskargrupper behövs. Detta kan ske genom ramanslag. Riktade ämnesinsatser får inte överdrivas och antalet ska hållas nere. Systemet med riktade insatser och särskilda potter och prioriteringslistor skapar svårigheter och medger taktiska vägval vid beredningen.

De särskilda forskartjänsterna bör fokuseras på etablerandet av nya områden som är i speciellt stort strategiskt behov av uppbyggnad i Sverige.

Problemen med finansiering av medeldyr utrustning kommer att kvarstå om finansieringen även i fortsättningen ska konkurrera med projektmedlen inom beredningsgrupperna. Området teknisk mekanik har och kommer att få än större behov av utrustningsfinansiering. Möjligen måste medel för detta öronmärkas.

Ett teknikrelevant område med behov av stöd är design av komplexa system. Ofta är verksamheten rätt produktnära. Exempel på avdelningar där inslag av forskningsfinansiering från Vetenskapsrådet ofta saknas är konstruktionsteknik, byggnadsteknik, bergmekanik, maskinkonstruktion, stålbyggnad, träbyggnad och produktutveckling. Inom dessa områden behövs mer inomvetenskaplig



forskning, men också ett närmare samarbete med de mer övergripande områdena, bland andra hållfasthetslära, strömningsmekanik, akustik, elektronik, för att överföra ny beräkningsteknik och experimentell teknik.

Riktat stöd till tvärvetenskapliga projekt av den typen vore därför önskvärt. Framför allt vore ett brett riktat stöd till teknikvetenskaplig grundforskning motiverat. Detta förstärks av den situation som råder med minskande stöd till detta område från SSF och VINNOVA.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Vetenskapsrådets roll allt viktigare

Samarbetet mellan de tekniska institutionerna och industrin är väl utbyggt och är mycket viktigt både för dessa och för samhället i övrigt. Området ger ett stort och viktigt tillskott av kvalificerad personal till industrin och samhället. Vetenskapsrådets och de tekniska fakulteternas roll är mycket viktig i detta sammanhang. SSF, NUTEK och industrin är exempel på andra viktiga finansiärer. Deras bidrag ser dock ut att minska under den kommande perioden varför Vetenskapsrådets roll troligen blir än viktigare. Den tekniska mekaniken kan betecknas som ett moget område som har funnits länge. Området är viktigt för svensk industri och samhället i övrigt. Det fortsätter att utvecklas inom traditionella tillämpningsområden som vår basindustri samtidigt som det breddas mot nya områden, till exempel mot de biologiska och medicinska områdena. Många nya tillämpningar kvarstår dock eftersom den tekniska mekaniken innefattar så många områden av människans verksamhetsområden liksom i mångt och mycket av människan själv.

### Ingen favorit

Teknisk mekanik är vanligen inte de stora rubrikernas eller ekonomijournalisternas älsklingsområde. Om till exempel verkningsgraden för ett svenskt vattenkraftverk eller i en processindustri, genom tekniska/vetenskapliga framsteg, höjs med delar av eller någon enstaka procent skapar det knappast några större rubriker. Dessa till synes små framsteg kan dock betyda stora besparingar för industri, konsumenter och samhälle. En brett riktad satsning på teknikvetenskaplig grundforskning vore önskvärd.

De stora kostnader som institutionerna, till exempel inom maskinområdet, har för sina lokaler och laboratorier har medfört att avdelningar med stor laborativ och experimentell verksamhet har svårt att klara sin ekonomi.

# Energi

## BEDÖMNING

- Med tanke på energiområdets stora sociala och industriella betydelse och de avsevärda utmaningarna som området har framför sig är en strategisk satsning på grundläggande energifrågor mycket angelägen. Detta skulle kunna innebära att större och mer långsiktiga, integrerade projekt kan realiseras.

## ÄMNESBESKRIVNING

### Hållbar energianvändning

Energiforskning stödd av Vetenskapsrådet syftar till grundläggande natur- och teknikvetenskaplig forskning inom området. På lång sikt (mer än tio år) ska den bidra till att säkerställa en säker, hållbar och ekologiskt försvarbar energiproduktion och -användning. Flera av energiprojekten syftar sålunda till att utreda och kartlägga tekniska och naturvetenskapliga fenomen av vikt för att minimera energiåtgången i befintliga system samt att på samma sätt undersöka förutsättningar för nya energikällor. Projekt bedrivs även för att utreda konsekvenser av energitnyttjande, till exempel för miljön. Verksamheten kompletterar på ett utomordentligt sätt annan sektorsforskning (till exempel Energimyndigheten) som i huvudsak har en annan tidskala i sin forskningsfinansiering och som även har en betydligt starkare politisk styrning.

### Tre områden

Energiforskning med Vetenskapsrådets stöd kan grovt delas in i tre huvudområden. Området teknikvetenskaplig energigrundforskning innefattar huvudsakligen kemi (till exempel katalys), teknisk fysik (till exempel bränsleceller, laserdiagnostik av förbränningsprocesser) och teknisk mekanik (strömning, värmeöverföring, förbränning).

Området materialinriktad energigrundforskning innefattar till exempel projekt om solceller, batterier, supraledning, nya lättare konstruktionsmaterial, nya halvledarmaterial och nya sensorer. Inom området finns starka inslag av teoretisk modellering.

Området biovetenskaplig energigrundforskning innefattar bland annat artificiell fotosyntes, optimal biomassatillväxt, biogasframställning samt ekologiska och meteorologiska konsekvenser av energiutnyttjande.

## Ökad förståelse

Det är svårt att definiera rent svenska genombrott inom energiområdet. Emellertid, flera materialkaraktäriseringsmetoder, exempelvis inom synkrotronljusområdet, har haft en kraftig utveckling som har lett till helt nya möjligheter och nya insikter. Utvecklingen av materialsimuleringsmetoder har också lett till möjligheter att modellera alltmer komplexa material. Svenska forskare har även gjort genombrott beträffande förståelsen av den kemiska bindningen mellan molekyler och ytor och därigenom också katalytiska processer.

Inom den svenska teknikvetenskapen har satsningar på modellering och diagnostik av strömnings- och förbränningsprocesser bidragit till en ökad förståelse av dessa fenomen. Svensk biovetenskaplig grundforskning med energiinriktning mot fotosyntes, speciellt strukturstudier av de fotosyntetiska ljusupptagningssystemen, har lagt grunden för utveckling av biomimetiska system, exempelvis för artificiell fotosyntes. Biomimetik innebär att naturens konstruktioner imiteras. Dessutom är kartläggningen av arvsmassan hos flera växter, inklusive poppel där svenska forskare lämnar stora bidrag, ett molekylärbiologiskt genombrott med relevans för biomassaproduktion.

## STYRKOR OCH SVAGHETER

### Forskningen mer långsiktig

De svenska områden som bedöms vara speciellt framträdande i ett internationellt perspektiv är delar av materialområdet såsom avancerad materialkaraktärisering, syntes av nya halvledarmaterial, teoretisk modellering av material, förbränningsområdet samt området biomassaproduktion med tonvikt på grundforskning inom naturlig och artificiell fotosyntes, respiration och vedbildning.

Områden av energirelevans som inte har haft något stort söktryck och följaktligen inte någon större finansiering från Vetenskapsrådet är vindkraftsystemet och energisystemfrågor. Rent generellt har flera teknikvetenskapliga forskningsområden fått en mer långsiktig karaktär under den senaste tioårsperioden, till exempel forskning inom förbränning.

## UTVECKLINGSTENDENSER

### Effektivare nyttjande

Inom till exempel teknisk mekanik har tillkomsten av nya och snabbare datorer samt utveckling av nya beröringsfria mättekniker väsentligt ökat möjligheterna för effektivare förbränningsteknik. Det har gjorts stora framsteg avseende materialkaraktärisering, materialsyntes och modellering. Avancerade artificiella material spelar en allt större roll. Nanostrukturerade material ger också nya möjligheter. Inom biovetenskaplig grundforskning med energiinriktning har det under den senaste tioårsperioden skett stora genombrott gällande kartläggning av biologisk arvmassa för flera organismer, identifiering av proteinkomponenter och förståelsen av struktur- och funktionssamband på molekylär nivå. Allt detta kunskapsuppbyggande ger möjlighet till effektivare utnyttjande av biologiskt material för biomassaproduktion, framställning av biobaserade och icke koldioxidgenererande bränslen samt utveckling av biomimetiska system.

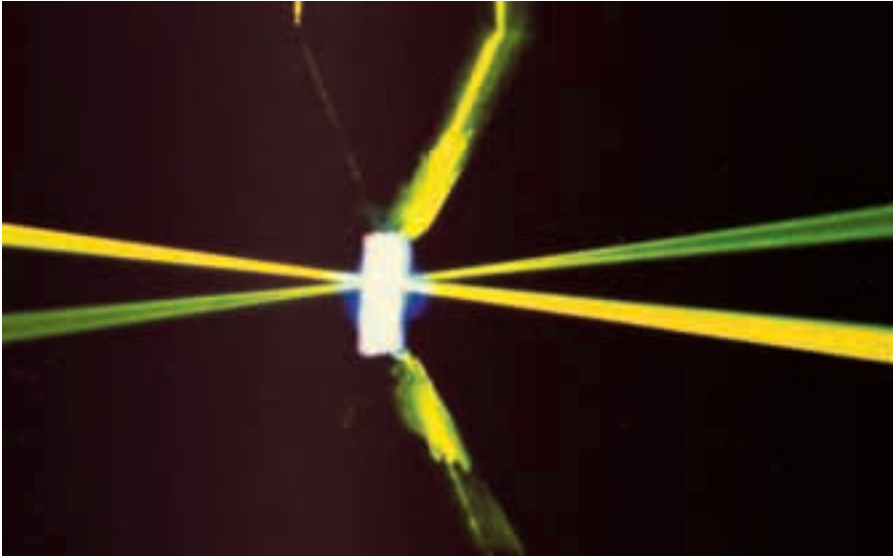
Internationellt är grundforskning viktigt inom bränsleceller, framställning av biobaserade och icke koldioxidgenererande bränslen samt förbränning av dessa. Nanoteknologin kommer att spela en allt större roll för utveckling av nya funktionella material. Många nya tillämpningar väntar på att grundläggande materialproblem kan lösas, till exempel solenergi, displayer, energilagring, kraftelektronik och nya lättviktsmaterial.

Materialkaraktärisering och modellering kommer att ta nya steg som ger ytterligare möjligheter. Inom biovetenskaplig grundforskning är den viktigaste utvecklingstendensen fortsatt genkartläggning av flera fotosyntetiska organismer med relevans för energiforskning (till exempel för biomassaproduktion och biogasproduktion) samt förståelsen av funktioner hos relevanta proteiner, det vill säga funktionsgenomik. Dessutom kommer ökad kunskap om 3D-proteinstruktur att leda till bättre förståelse av reaktionsmekanismer, vilket kan utnyttjas i biomimetiska system.

## STRATEGIER

### Anpassa forskning till Sveriges villkor

Vetenskapsrådet bör göra satsningar för att på ett grundforskningsplan komplettera andra finansiärer. Sverige är ett litet land med begränsade resurser, vilket innebär att satsningar inte kan göras inom alla energiområden. Detta torde innebära att man bör prioritera områden av speciell betydelse för Sverige, anpassat till landets energistruktur samt industri. Detta skulle kunna vara forskning



*Med tanke på energiområdets stora sociala och industriella betydelse och de avsevärda utmaningarna som området har framför sig är en strategisk satsning på grundläggande energifrågor mycket angelägen.*

Förbränning är fortfarande viktig som energikälla och också inom industrin, t.ex. i motorer och gasturbiner, är det viktigt att förbättra effektiviteten vid förbränning och minska bildandet av luftföroreningar. Med hjälp av laserstrålar som passerar en förbränningslåga går det att med hög precision mäta temperaturen och koncentrationen av olika ämnen som ingår i processen. En av de viktigaste faktorerna för att förbränning ska vara så effektiv och ren som möjligt är att den sker vid rätt temperatur. Foto: Claes Levinsson

inom katalysområdet, bränsleceller, framställning av biobaserade och icke koldioxidgenererande bränslen samt förgasning och förbränning av dessa.

Inom materialområdet är det svårare att peka ut speciella insatsområden eftersom skärningen materia/energi är mycket viktig i sin helhet. Inom biområdet borde prioriteras en fortsatt satsning på högkvalitativ grundvetenskaplig forskning som leder till optimal biomassaproduktion, utveckling av biomimetiska system till exempel inom artificiell fotosyntes samt studier av biologiska organismer för bibränsleproduktion. Man har kartlagt fullständigt flera genom och ytterligare genom kommer att sekvenseras. I framtiden bör man därför exploatera denna kunskap för bättre förståelse av helhetsbilden av cellulära processer för att effektivisera biologisk och biomimetisk energiproduktion.

Utöver de medel som kommer från Näringsdepartementet borde ytterligare resurser tillskjutas för att möjliggöra större mångvetenskapliga projekt. Dyliga

större satsningar skulle innefatta flera forskargrupper från olika universitet och med ämnesmässigt skilda bakgrunder, allt för att kunna erhålla ett interdisciplinärt, gränsöverskridande angreppssätt, vilket torde vara nödvändigt inom ett ämnesområde så brett som energiområdet.

Med tanke på de avsevärda utmaningarna och den sociala och industriella betydelse som energiområdet har är en strategisk satsning på grundläggande energifrågor mycket angelägen. Detta skulle kunna innebära att större och mer långsiktiga, integrerade projekt skulle kunna realiseras. Det är också viktigt att slå vakt om Vetenskapsrådets möjligheter att stödja uppbyggnad och underhåll av infrastrukturer. Det är viktigt att Vetenskapsrådet har betydande resurser för utrustning och nya anläggningar. Detta är ett viktigt styrmedel för kommande forskning och det är väsentligt att rådet kan vara en kraftfull aktör i detta avseende.

## SÄRSKILDA ÖVERVÄGANDEN

### Obalans mellan grundforskning och tillämpad forskning

Energiområdet är speciellt inom Vetenskapsrådet och har inte en lika strikt disciplinär definition som många andra områden. Emellertid, beredningsgruppen för energi tar årligen fram en energirelevansprofil genom diskussion och förfining av områdets definition.

Hanteringen av energiansökningarna är också annorlunda inom Vetenskapsrådet i och med att alla ansökningar först behandlas och bedöms med avseende på vetenskaplig kvalitet i någon av de övriga beredningsgrupperna och därefter behandlas de i speciell ordning av beredningsgruppen för energi. Med hänsyn taget till den bredd som energiområdet innebär har gruppen även en större och bredare sammansättning än de flesta andra beredningsgrupper.

### Olika tidsperspektiv

För att klara de kort- och långsiktiga energiforskningsmål som politiker och samhälle har ställt upp så finns det flera forskningsfinansiärer, bland annat Energimyndigheten, Vetenskapsrådet och MISTRA. Situationen återspeglar delvis behovet av flera olika tidsperspektiv på tillämpbarhet för en effektiv forskningsfinansiering. En ökad koordination och koherens i forskningsfinansieringen med mera långsiktiga och större anslag skulle tveklöst gagna energiforskningen och dessutom kunna utjämna den obalans som nu råder i finansieringsgraden för tillämpade och icke tillämpade energirelaterade projekt.

Vetenskapsrådet besitter en unik roll för att främja den långsiktiga utvecklingen av energiforskningen och har för detta många viktiga funktioner. En är möjligheten att uthålligt finansiera projekt som har stor potential för den framtida energiförsörjningen, där tidshorizonten är lång och risken betydande, samt att rekrytera yngre forskare i närliggande forskningsområden till att bedriva långsiktig tvärvetenskaplig forskning inom energiområdet.

# Akronymer

ALICE	A Large Ion Collider Experiment
ALMA	Atacama Large Millimeter Array
AMANDA	Antarctic Muon And Neutrino Detector Array
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
ATLAS	A Toroidal LHC Apparatus
CAD	Computer Aided Design
CDMA	Code-Division Multiple Access
CERN	European Organization for Nuclear Research
CMR	Colossal Magneto-Resistance
CPM	Continuous Phase Modulation
DESIREE	Double Electrostatic Ion Ring Experiment
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DMS	dimetylsulfid
DOM	Dissolved Organic Matter
DSP	Digital Signal Processing
EBI	European Bioinformatics Institute
EEG	elektroencefalografi
EISCAT	European Incoherent Scatter Facility
EKG	elektrokardiografi
EMBC	European Molecular Biology Conference
EMBL	European Molecular Biology Laboratory
ESA	European Space Agency
ESO	European Southern Observatory
ESS	European Spallation Source
EURATOM	European Atomic Energy Community
EXTRAP	External Ring Trap
FORMAS	Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande
FPGA	Field-Programmable Gate Array
FRN	Forskningsrådsnämnden
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GLAST	The Gamma-ray Large Area Space Telescope
GMR	Giant Magneto-Resistance
GSM	Global System for Mobile Communication
HST	Hubble Space Telescope
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme
IGCP	International Geological Correlation Programme



IODP	Integrated Ocean Drilling Program
IR	Infrared
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
JET	Joint European Torus
JWST	James Webb Space Telescope
KK-stiftelsen	Stiftelsen för Kunskaps- och Kompetensutveckling
LDV	Laser Doppler Vibrometri
LHC	Large Hadron Collider
MEMS	mikroelektromekaniska system
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISTRA	Stiftelsen för Miljöstrategisk Forskning
NFR	Naturvetenskapliga forskningsrådet
NGST	Next Generation Space Telescope (numera JWST)
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NORDITA	Nordiska institutet för teoretisk fysik
ODP	Ocean Drilling Program
OWL	Overwhelmingly Large Telescope
PAMELA	Payload for AntiMatter Exploration and Light-nuclei Astrophysics
PCC	Personal Computing and Communication
PNAS	Proceedings of the National Academy of the US
SDL	Specification and Description Language
SEA	statistisk energianalys
SNAP	SuperNova Acceleration Probe
SNP-analys	Single Nucleotide Polymorphisms
SSF	Stiftelsen för Strategisk Forskning
STINT	Stiftelsen för internationalisering av högre utbildning och forskning
STM	Scanning Transmission Electron Microscopy
STU	Styrelsen för Teknisk Utveckling
TEM	Transmissionselektronmikroskopi
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UPPAAL	Uppsala och Aalborg
VINNOVA	Verket för Innovationssystem
VLT	Very Large Telescope
WCRP	World Climate Research Programme