

Omvandling och fasta tillstånd

*Materialvetenskapens etablering
vid svenska universitet*

.....

JOHAN GRIBBE



Titel: Omvandling och fasta tillstånd – *Materialvetenskapens etablering vid svenska universitet*

Författare: Johan Gribbe

Serie: Vinnova Analys VA 2016:06

ISBN: 978-91-87537-52-3

ISSN: 1651-355X

Utgiven: Oktober 2016

Utgivare: Vinnova - Verket för Innovationssystem/Swedish Governmental Agency for Innovation Systems

Diariernr: 2015-04035

Vinnova stärker Sveriges innovationskraft för hållbar tillväxt och samhällsnytta

Vinnova är Sveriges innovationsmyndighet. Vår uppgift är att främja hållbar tillväxt genom att förbättra förutsättningarna för innovation och att finansiera behovsmotiverad forskning.

Vinnovas vision är att Sverige ska vara ett globalt ledande forsknings- och innovationsland som är attraktivt att investera och bedriva verksamhet i. Vi främjar samverkan mellan företag, universitet och högskolor, forskningsinstitut och offentlig verksamhet. Det gör vi genom att stimulera ökat nyttiggörande av forskning, investera långsiktigt i starka forsknings- och innovationsmiljöer och genom att utveckla katalyserande mötesplatser. Vinnovas verksamhet är även inriktad på att stärka internationell samverkan. Vi fäster stor vikt vid att samspela med andra forskningsfinansiärer och innovationsfrämjande organisationer för större effekt. Varje år investerar Vinnova drygt 2,7 miljarder kronor i olika insatser. Vinnova är en statlig myndighet under Näringsdepartementet och nationell kontaktmyndighet för EU:s ramprogram för forskning och utveckling. Vi är också regeringens expertmyndighet inom det innovationspolitiska området. Vinnova bildades 1 januari 2001. Vi är drygt 200 personer och har kontor i Stockholm och Bryssel. Generaldirektör är Charlotte Brogren.

I publikationsserien **Vinnova Analys** publiceras studier, analyser, utredningar och utvärderingar som tagits fram inom eller på uppdrag av Vinnovas avdelning verksamhetsutveckling och analys.

I Vinnovas publikationsserier redovisar bland andra forskare, utredare och analytiker sina projekt. Publiceringen innebär inte att Vinnova tar ställning till framförda åsikter, slutsatser och resultat. Undantag är publikationsserien Vinnova Information där återgivande av Vinnovas synpunkter och ställningstaganden kan förekomma. Vinnovas publikationer finns att beställa, läsa och ladda ner via www.vinnova.se. Tryckta utgåvor av Vinnova Analys och Rapport säljs via Wolters Kluwer, www.wolterskluwer.se, tel 08-598 191 90 eller kundservice@wolterskluwer.se

Vinnova's publications are published at www.vinnova.se

Omvandling och fasta tillstånd

Materialvetenskapens etablering

vid svenska universitet

.....

FÖRFATTARE JOHAN GRIBBE

Titel: Omvandling och fasta tillstånd – *Materialvetenskapens etablering vid svenska universitet*

Författare: Johan Gribbe

Serie: Vinnova Analys VA 2016:06

ISSN: 1651-355X

ISBN: 978-91-87537-52-3

Utgiven: Oktober 2016

Utgivare: Vinnova - Verket för Innovationssystem/Swedish Governmental Agency for Innovation Systems

Diarienummer: 2015-04035

Produktion & layout: Vinnovas Kommunikationsavdelning

Tryck: E-Print, Stockholm, www.eprint.se

Innehållsförteckning

Förord	5
Inledning	7
Studiens utgångspunkter i tidigare forskning	7
Metod och källor	14
Disposition	15
Materialvetenskapens uppkomst: Internationell utveckling fram till 1970-talet	16
Materialvetenskapen som akademisk disciplin	16
Industriforskningsinstitutet och svensk militär materialforskning	21
Ytvetenskapen och tunnfilmstekniken som nytt forskningsområde	27
Finansieringen av den nya materialvetenskapen: Satsningar inom STU:s ramprogram och det nationella mikroelektronikprogrammet under 1980-talet	32
Studier av amerikansk materialforskning	35
Ytors fysik och kemi.....	37
Uppföljande satsningar på biomaterial och mikronik.....	43
Mikroelektronikprogrammet.....	47
Materialkonsortierna: Svensk materialvetenskap samlas under 1990-talet	53
Planeringen av materialkonsortieprogrammet	54
Nanometerkonsortiet	62
Supraledande material	65
Tunnfilmsforskningen i Linköping	67
Ångströmkonsortiet – tunnfilmsforskningen i Uppsala	71
Metalloxidiska ytstrukturer	75
Kluster och ultrafina partiklar	77
Biomaterial.....	79
Teoribaserade expertsystem för materialutformning.....	81
Datorstödd material- och processutveckling	84
Gränsskiktsinteraktioner i polymera system.....	87
Sammanfattning	90

Kompetenscentrum, industrisamverkan och strategiska forskningsområden	92
Forskningspolitiken under 1990-talet	92
Nya centrumbildningar i materialkonsortiernas kölvatten – kompetenscentrum och strategiska forskningscentrum	95
Utbyggt stöd till strategiska forskningsmiljöer	101
Strategiska forskningsområden	108
Avslutning	113
Referenser	119
Intervjuer.....	119
Tryckta källor	120
Litteratur	122

Förord

Sverige etablerade sig under efterkrigstiden som en framstående forskningsnation inom flera av de framväxande forskningsdiscipliner som gavs beteckningen materialvetenskap. Impulsen till utvecklingen av denna nya vetenskapsgren kom från USA och bestod av ett sammanväxande av flera etablerade forskningsgrenar, motiverad och finansierad inte minst av dåtidens militära satsningar. För etableringen i Sverige, och för den fortsatta utvecklingen från 1970-talet och framåt, spelade statliga forskningsfinansierare en inte obetydlig roll.

När Vinnova 2016–2017 genomför en effektanalys av några av sina (mer sentida) satsningar inom materialforskningsområdet är det viktigt att förstå den djupare kontext som framväxten av en svensk materialforskning under andra halvan av 1900-talet utgör. Föreliggande rapport har därför genomförts på uppdrag av Vinnova. Författaren har emellertid fått avgränsa och förhålla sig relativt fritt till uppgiften att göra en översikt av material-området utifrån en teknisk, en forskningsmässig och en industriell aspekt. Resultatet är en historisk analys över olika faktorerers betydelse – tekniken, forskningsfinansieringen och industrin – för framväxten av det materialvetenskapliga fältet i Sverige, dess innehåll och inriktning. Framförallt är det forskningsfinansieringen som belyses och hur de prioriteringar som gjorts har styrt resursernas fördelning. Effekter av dessa prioriteringar på längre sikt är särskilt intressanta. Den teknik och forskningsinfrastruktur som byggts upp med forskningsanslag och med givna syften under en period, får en annan roll och betydelse för den faktiska forskningens innehåll och den vetenskapliga utvecklingen vid senare perioder.

Underlag för studien har varit utredningar och rapporter från forskningsfinansierare, men framförallt intervjuer med forskare som själva varit med under den period som avhandlas. Författaren rör sig på så vis mellan de bakomliggande strukturella förutsättningarna, som de beskrivs i utredningar och rapporter, och de aktörer som verkade under dessa förutsättningar. Trots detta är det ingen katalog över namn och personer utan snarare en berättelse om vilka roller vissa personer spelat under perioden, hur de både påverkat och använt förutsättningar som getts utifrån politiska beslut om forskningsfinansieringens inriktning, hur de byggt upp forskningsmiljöer med nya inriktningar som i sin tur gett upphov till nya möjligheter inom forskningen.

Rapporten har författats av Johan Gribbe. Författaren vill genom detta förord passa på att rikta ett varmt tack till alla de som generöst delat med sig av sin tid genom att ställa upp på intervjuer och som bidragit med information och synpunkter. Ett särskilt tack till Lennart Stenberg och Olof Hallonsten, som läst och kommenterat rapporten i flera versioner.

Vinnova hoppas att rapporten kan vara ett värdefullt bidrag till alla som bättre vill förstå såväl materialvetenskapens framväxt i Sverige som överhuvudtaget det komplexa samspel av vetenskapliga framsteg, politiska prioriteter, kommersiella möjligheter och finansiella förutsättningar som bidrar till att forma forskningen.

Vinnova i oktober 2016

Daniel Johansson
Enhetschef analys
Avdelning verksamhetsutveckling
och analys

Kent H Hermansson
Analytiker
Avdelning verksamhetsutveckling
och analys

Inledning

Denna studie behandlar materialvetenskapens utveckling och etablering vid svenska universitet med tonvikt på perioden från 1970-talet och fram till idag. Syftet är att förklara strukturen hos dagens svenska forskningssystem genom att analysera dess historiska utveckling.

Internationellt har den här perioden karaktäriserats av materialvetenskapens formering som vetenskaplig disciplin. För att avgränsa undersökningen kommer en distinktion att göras mellan materialforskning, i meningen forskning om material, och materialvetenskap som vetenskaplig disciplin. Materialforskning, som begreppet används här, har en vidare innebörd än materialvetenskap. Forskning om material och processer för att framställa material har länge bedrivits vid svenska universitet och forskningsinstitut och inom svensk industri. Studiens tonvikt kommer att ligga vid en undersökning av materialvetenskapen vid svenska universitet och hur den utvecklats under perioden. Industrins verksamhet och forskning inom materialområdet kommer att beröras, men då framförallt i relation till den akademiska materialvetenskapen vid universitet och högskolor. Denna avgränsning har gjorts för att studien inte skall bli alltför omfattande. Undersökningen kommer också att beröra den svenska nanovetenskapen och nanoteknologin, ett nytt forskningsområde som till stor del har sitt ursprung i materialvetenskapen. Mellan materialvetenskapen och nanovetenskapen är gränsdragningen inte heller alltid enkel att dra, skillnaden handlar till stor del om längdskalan hos undersökta fenomen.

Inledningsvis kommer studiens utgångspunkter att diskuteras utifrån internationell vetenskapshistorisk och vetenskapssociologisk litteratur. Frågeställningar formuleras med utgångspunkt i denna forskning. I ett kort avsnitt behandlas därefter tidigare forskning om svensk forskningspolitik och studiens material och underlag.

Studiens utgångspunkter i tidigare forskning

Om den svenska materialvetenskapens och materialteknikens utveckling saknas nästan helt tidigare forskning. Internationellt finns en vetenskapshistorisk och vetenskapssociologisk litteratur som behandlar disciplinens utveckling under efterkrigstiden och fram till idag, huvudsakligen utifrån amerikansk synvinkel. Denna litteratur tjänar som

utgångspunkt för studien och bidrar med ingångar och perspektiv till en analys av den svenska materialvetenskapen och dess formering.¹

Materialvetenskapen som vetenskaplig disciplin uppstod vid amerikanska universitet under 1950-talet. Flera av de ledande universiteten i USA inledde vid denna tid forskarutbildning och senare grundutbildning i materialvetenskap. Mot slutet av 1950-talet var begreppet vedertaget och användes i institutionsnamn och kursprogram i utbildningar på grund- och forskarnivå.² Utvecklingen som ledde fram till materialvetenskapens formering som vetenskaplig disciplin har behandlats i flera vetenskapshistoriska och vetenskapssociologiska studier. Den sammanfaller med den utveckling som parallellt skedde av instrument och teorier, vilka gjorde det möjligt att förklara materials bildande och egenskaper. Fram till dess var materialforskning en empirisk vetenskap. En detaljerad analys av materialvetenskapens uppkomst ligger utanför ramarna för den här undersökningen. I det här sammanhanget räcker det med att lyfta fram ett antal centrala drag som karakteriserat materialvetenskapens utveckling internationellt under efterkrigstiden och som har relevans för en studie av den svenska situationen. Ett viktigt grunddrag handlar om dess ursprung i olika etablerade vetenskapliga ämnen. Medan många andra nya vetenskapliga discipliner har uppstått genom intern specialisering inom ett forskningsämne – den moderna fysikens uppdelning i kärnfysik, partikelfysik och det fasta tillståndets fysik är ett tydligt exempel som följer specialiseringens logik – formerades materialvetenskapen genom att forskare med olika vetenskaplig tillhörighet och bakgrund närmade sig varandra utifrån ett gemensamt intresse för material och i synnerhet sambandet mellan struktur och egenskaper hos material.³ Detsamma kan sägas om nanovetenskapen som senare under 1990-talet växte fram ur bland annat materialvetenskapen.⁴

Ett antal nya forskningsinriktningar inom fysiken och metallurgin var centrala för materialvetenskapens uppkomst. Inom metallurgin skedde en viktig utveckling under mellankrigstiden genom introduktionen av röntgendiffraktion som möjliggjorde studiet av atomer i kristallstrukturer i metaller. Studierna genomfördes av en ny skola mer fysiskt inriktade metallurger, som intresserade sig för metallernas mikrostruktur som ett sätt att vetenskapligt analysera legeringars egenskaper.⁵ En annan teknisk nyhet under 1950-talet var transmissionselektronmikroskopet, som möjliggjorde ytterligare mer

¹ Stuart W. Leslie, *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford* (New York: Columbia University Press, 1993); Robert W. Chan, *The Coming of Materials Science* (London: Pergamon, 2001); Bernadette Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", i *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* Vol. 31, Part 2; Cyrus Mody och Hyungsub Choi, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University 1960–2000", i *Historical Studies in the Natural Sciences* vol. 43/2 (2013).

² Robert W. Chan, *The Coming of Materials Science* (London: Pergamon, 2001).

³ Joseph D. Martin, "Fundamental Disputations: The Philosophical Debates that Governed American Physics, 1939–1993", i *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 45 no. 5 (2015).

⁴ Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", s. 224.

⁵ Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", s. 225.

detaljerade studier av mikrostrukturen hos material. Inom fysiken skedde en parallell utveckling som bidrog med en teoretisk underbyggnad. Förändringarna begränsade sig inte till forskningens inriktning och innehåll, utan formade även organisationsstrukturen och undervisningsprogrammen i metallurgi. I slutet av 1950-talet började några universitet, bland annat Northwestern University i Chicago och Massachusetts Institute of Technology (MIT), erbjuda kurser som behandlade andra sorters material vid sidan om metaller, bland annat keramer, som ett led i sina metallurgiska utbildningar som dessutom inkluderade fysik och kvantmekanik. Förändringarna i forskarutbildningen ledde till att Northwestern University 1959, som första amerikanska universitet, bytte namn på sin metallurgiska institution till materialvetenskap. Forskningen inom det fasta tillståndets fysik fick samtidigt ett uppsving under 1950-talet, till stor del genom utvecklingen av transistorer och de stora ekonomiska resurser som industrin med militärt stöd investerade i forskning om halvledarmaterial.⁶

En liknande utveckling i riktning mot tvärvetenskaplig forskning om material skedde i industrins forskningslaboratorier. DuPonts forskningsstation i Wilmington, Delaware, bedrev redan under 1930-talet forskning om polymera material i en tvärvetenskaplig grupp av fysikaliska och organiska kemister, som låg bakom utvecklingen av materialet nylon. Fysiker, metallurger och kemister arbetade i gemensamma grupper vid Bell Telephone Laboratories i Holmdel, New Jersey, inriktade mot halvledarmaterial av kisel och germanium till transistorer och dioder. På motsvarande sätt etablerade General Electric Research Laboratory, som brukar beskrivas som det första industriella forskningslaboratoriet med en verksamhet bortom omedelbart industriellt problemlösande, ett arbetssätt inom materialområdet som byggde på medverkan av specialister från olika vetenskapliga discipliner.⁷ Politiskt tilldrog sig utvecklingen inom materialvetenskapen intresse mot bakgrund av det kalla krigets behov av avancerade material för tillämpningar inom rymdprogrammet och i militära system. Forskning om strategiska material bedrevs redan under kriget, men skillnaden var att det säkerhetspolitiska intresset i USA under 1950-talet alltmer kom att riktas mot material i generell mening. Efterfrågan gällde inte enbart forskning om specifika sorters material, utan en bredare forskning om ”material” som generisk kategori. Nya storskaliga program lanserades och bidrog till att ge materialvetenskapen finansiell styrka och en tillämpad inriktning mot militära behov.⁸

Materialvetenskapens uppkomst som vetenskaplig disciplin ska till stor del ses i ljuset av dessa militära satsningar. Med militär finansiering togs samtidigt vetenskapliga initiativ för att foga samman materialvetenskapen och etablera gemensamma koncept och utgångspunkter.⁹ Tongivande forskare argumenterade för att materialvetenskapen

⁶ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 4–7.

⁷ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 8–9.

⁸ Bensaude-Vincent, ”The construction of a discipline”, s. 226–227.

⁹ Lawrence Himmel m.fl. (red.), *Perspectives in materials research* (Washington, DC: Office of Naval Research, 1963).

borde baseras på en kvantmekanisk förståelse för sambanden på molekylär och atomär nivå. Med denna teoretiska bas skulle material kunna byggas underifrån och ges specifika egenskaper. Men delvis på grund av tekniska begränsningar kom istället mer pragmatiskt tvärvetenskapliga utgångspunkter för forskningen att formuleras. Flera vetenskapliga discipliner skulle bidra. Forskningen om material skulle ske utifrån olika vetenskapliga utgångspunkter.¹⁰ Det var under 1960-talet som de första vetenskapliga tidskrifterna inom området började ges ut.¹¹ Samtidigt var kopplingen mellan materialvetenskap och materialteknik tydlig. Materialvetenskapens inriktning mot praktiskt användbara material innebar att materialtekniska frågor om tillverkning och tillämpningar var ständigt närvarande. Liknande kopplingar finns mellan nanovetenskap och nanoteknologi.¹² Inom många avancerade materialområden är det dessutom svårt att skilja mellan material och processer för att framställa komponenter och produkter baserade på materialen. Det kanske tydligaste exemplet är framställningen av halvledare och kontaktledningar till högintegrerade kretsar (VLSI) inom mikroelektroniken.

Sammantaget handlar den internationella litteraturen till stor del om materialvetenskapens formering som disciplin och om hur alltför vetenskapliga inriktningar kommit att ingå i det materialvetenskapliga forskningsprogrammet. Det är ett komplicerat och mångbottnat skeende som inte enkelt låter sig sammanfattas. Vetenskapshistorikern Bernadette Bensaude-Vincent pekar i sina studier på ett antal karakteristiska faktorer som också kan vara intressanta att använda som utgångspunkt för en undersökning av den svenska materialvetenskapens och materialteknikens utveckling.

Tekniken – En första faktor handlar om teknikens betydelse som vetenskaplig drivkraft. Materialvetenskapen har hela tiden varit nära kopplad till den instrumenttekniska utvecklingen. Framsteg inom instrumentområdet, med nya metoder och tekniker för att karaktärisera, analysera och syntetisera material, har angett ramarna och styrt mycket av forskningens utveckling. Att ta fram nya tekniska instrument har samtidigt varit forskningsmässigt prioriterat. Bakom utvecklingen av materialvetenskapen i riktning mot nanovetenskap och nanoteknologi under 1990-talet stod introduktionen och den kommersiella spridningen av sveptunnelmikroskopet (STM) och atomkraftmikroskopet (AFM). En viktig faktor i den tekniska utvecklingen var industrins strävan att tillverka allt mindre (och allt billigare) mikroelektronikkomponenter. Framväxten av elektronstrålelitografi möjliggjorde kontrollerad tillverkning av nanostrukturer. Bensaude-Vincent menar att den instrumenttekniska utvecklingen inte bara öppnat upp nya materialvetenskapliga forskningsområden, utan dessutom bidragit till skapandet av en vetenskaplig gemenskap. Användandet av gemensamma laboratorieresurser och

¹⁰ Mody och Choi, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University 1960–2000", s. 126–127.

¹¹ Cahn, *The Coming of Materials Science*.

¹² Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", s. 223.

utrustning blir därmed, mot bakgrund av de materialvetenskapliga forskarnas olika bakgrund och akademiska tillhörighet, en viktig del av det som definierar och håller samman disciplinen i vetenskaplig mening.¹³ Till detta ska läggas introduktionen av teoretisk modellering och simulering, som var beroende av datorkraft och beräkningskapacitet. Inom svensk materialvetenskap har inte minst *Ab initio* kvantkemiska och kvantmekaniska metoder med täthetsfunktionalteori (DFT) spelat en viktig roll.

Forskningsfinansieringen – En andra faktor är politikens och forskningsfinansieringens betydelse. De politiskt initierade forskningsprogrammen har hela tiden varit centrala i materialvetenskapens utveckling. Satsningarna på materialvetenskap och materialteknik har politiskt motiverats olika under olika perioder. Under det kalla kriget skedde stora satsningar på avancerad materialvetenskap inom ramen för militära system och rymdteknologiska tillämpningar. Forskningsprogrammen ingick som en del av den amerikanska försvarspolitiken. Finansieringen av universitetens forskning inom materialområdet skedde till stor del genom försvarsdepartementets budget. Bensaude-Vincent lyfter fram det amerikanska rymdprogrammet och de forskningsprogram som sjuösattes i samband med Sputnik-krisen i slutet av 1950-talet som centrala i materialvetenskapens utveckling.¹⁴ Senare fick samhällseliga – framförallt industriella – problem och utmaningar gradvis större utrymme. Under 1980-talet handlade motiven om ekonomisk konkurrenskraft och den amerikanska industrins behov av forskning om avancerade material.¹⁵ Statens roll som beställare av forskning och system (främst militära och rymdtekniska) hos industri och universitet har genomgående varit viktig. Ett centralt och bestående, men samtidigt föränderligt, inslag i den amerikanska forskningspolitiken har varit satsningar på tvärvetenskapliga centrubildningar. Finansiering av materialvetenskap genom tvärvetenskapliga forskningscentrum och laboratorier började inom ramen för militära program. Förebilderna var dels de industriella forskningslaboratorierna, dels de stora tekniksatsningar inom brett sammansatta forskargrupper som skett under kriget. Inte minst vid MIT utvecklades tvärvetenskapliga forskningsmiljöer och organisationsformer som blev stilbildande. Modellen spred sig senare till andra vetenskapliga områden och finansiering av centrubildningar utvecklades till ett permanent inslag i det amerikanska forskningsystemet under 1980-talet, då dessutom industrin involverades i centrens verksamhet och finansiering.¹⁶

¹³ Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", s. 246. Se även: Ian Hacking, "The Disunities of the Sciences", i Peter Galison och David J. Stump (red.), *The Disunity of Science: Boundaries, Context and Power* (Stanford: Stanford university press, 1996).

¹⁴ Bernadette Bensaude-Vincent, "Building Multidisciplinary Research Fields: The Cases of Materials Science, Nanotechnology and Synthetic Biology", i Metz och Sormani (red.), *The Local Confirmation of Research Fields*, *Sociology of Sciences Yearbook* 29 (2016).

¹⁵ Mody och Choi, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University 1960–2000", s. 143.

¹⁶ Mody och Choi, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University 1960–2000".

Materialvetenskapens beroende av kostsam utrustning har skapat en betydande kontinuitet i de centrumbildningar och laboratorier som byggdes upp vid ledande amerikanska universitet. En stor del av den amerikanska materialforskningen har kommit att koncentreras till vad som i ett svenskt sammanhang skulle kallas för starka eller strategiska forskningsmiljöer i anslutning till centrala laboratorier. Forskningsmiljöerna har skapats genom kontinuerliga satsningar under lång tid och har ofta sina rötter långt tillbaka i tiden. Mody och Choi har studerat materialforskningslaboratoriernas utveckling vid Cornell University och drar en rak linje från de försvarsfinansierade IDL-laboratorierna under 1960-talet via submikronlaboratorier till dagens nanovetenskapliga och nanoteknologiska forskningscentrum, som ingår i bredare nätverk mellan universitet. Samma kontinuitet, där centrumbildningar leder till ytterligare satsningar, menar Mody och Choi kan ses generellt i det amerikanska universitetssystemet.¹⁷

Industrin – Slutligen kan man se industrins betydelse för sig och då särskilt relationen mellan industriforskning och universitetsforskning som en tredje faktor. Industrin spelade i ett amerikanskt sammanhang en central roll i materialvetenskapens uppkomst, vid sidan om den akademiska forskningen. En stor del av materialforskningen äger rum i industrins laboratorier, mest tydligt kanske inom elektronik- och halvledarområdet. Materialvetenskapens uppkomst som akademisk disciplin kan ses som resultatet av ett successivt förvetenskapligande av en industriell forskningsverksamhet, framdriven av praktiska frågeställningar kombinerat med behovet av ett mer vetenskapligt angreppssätt. Samtidigt har kopplingen och relationen mellan akademisk och industriell materialvetenskap hela tiden varit omdebatterad.¹⁸

Materialvetenskapen som akademisk disciplin uppstod i USA och en grundläggande uppgift i denna studie är att visa hur spridningen till svenska universitet och högskolor gick till. Det gäller bland annat hur svenska forskares internationella kontakter bidragit till att forma det svenska forskningssystemet. En viktig aspekt av detta blir spridningen av nya instrumenttekniker till svenska forskningsmiljöer och teknikens betydelse för etableringen av nya forskningsinriktningar. En grundläggande skillnad mellan den svenska och den amerikanska situationen ligger just i vetenskapens internationella sammanhang och beroendet av den internationella utvecklingen. Betydelsen av internationella utbyten och vetenskapliga influenser hör inte till de faktorer som lyfts fram i litteraturen om amerikansk materialvetenskap. Anledningen är att den amerikanska forskningen till stor del har drivit den internationella utvecklingen och att den därmed själv har utvecklats i en huvudsakligen nationell kontext. I ett svenskt sammanhang blir dock den internationella dimensionen central.

¹⁷ Mody och Choi, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University 1960–2000".

¹⁸ Bensaude-Vincent, "The construction of a discipline", s. 227–228.

Studien kan inte göra anspråk på att vara någon heltäckande undersökning av den svenska materialvetenskapen. Den behandlar ett amorft och mångfacetterat ämne i tillblivelse vilket gör avgränsningsproblemen svåra. Materialvetenskapen uppstod till stor del i mötet mellan teorin från det fasta tillståndets fysik och mer praktiskt och ingenjörsvetenskapligt förankrade discipliner och det är framförallt den processen som här studeras i ett svenskt sammanhang. Studiens tyngdpunkt ligger vid den del av materialvetenskapen som har sin grund i fysiken, medan andra grenar har fått mindre utrymme. Det handlar framförallt om den kemiskt grundade materialvetenskapen, som endast behandlats i liten utsträckning. Detsamma gäller den materialfysiska forskningen inriktad på instrumentteknik, som är ett svenskt styrkeområde. Forskningsanläggningarna MAX-laboratoriet och ESS (European Spallation Source) finns dock utförligt behandlade inom nyare vetenskapssociologiska studier.¹⁹

Institutionellt ligger fokus vid universitetens materialvetenskapliga forskning och hur den byggdes upp under perioden från 1970-talet och framåt. Materialvetenskapen etablerade sig inte i ett tomrum. Forskning om material bedrevs inom den svenska industrin och vid de kollektiva forskningsinstituten redan innan den nya materialvetenskapen spreds till universitet och högskolor. Materialforskningen under efterkrigstiden var till stor del en uppgift för industriforskningsinstituten, som av den Malmska utredningen tilldelats en nyckelroll i detta avseende.²⁰ Institutens verksamhet var till stor del inriktad mot exportindustrins behov – framförallt skogsindustrin och bergsindustrin – och de samarbetade nära med de tekniska högskolorna.²¹ Institutens och de tekniska högskolornas forskning om material och processer för materialframställning ingick i en ingenjörsvetenskaplig forskningstradition som bottnade i industriteknik och industriell praktik.²² Industrins och institutens materialforskning behandlas endast i liten utsträckning i denna studie. Deras forskningsverksamhet tas upp huvudsakligen i anslutning till den materialvetenskapliga forskningen vid universitet och högskolor.

Forskningspolitiken står på många sätt i centrum för framställningen, som kommer att hängas upp på ett antal stora forskningssatsningar och forskningsprogram från slutet av 1970-talet och fram till idag. Det kommer att handla om de olika satsningarna som gjordes på området, deras inbördes relationer och deras betydelse för den svenska materialvetenskapen. Inriktningen på forskningsprogram utgör också en empirisk strategi. Genom att undersöka de stora samlade forskningssatsningar som gjorts inom

¹⁹ Se exempelvis Olof Hallonsten (red.), *In pursuit of a promise: Perspectives on the political process to establish the European Spallation Source (ESS) in Lund, Sweden* (Lund: Arkiv, 2012); Idem., *Small science on big machines: Politics and practices of synchrotron radiation laboratories* (Lund: Research Policy Institute, 2009).

²⁰ Hans Weinberger, *Nätverksentreprenören: En historia om teknisk forskning och industriell utvecklingsarbete från den Malmska utredningen till Styrelsen för teknisk utveckling* (Stockholm, 1996).

²¹ Ingemar Pettersson, *Handslaget: Svensk industriell forskningspolitik 1940–1980* (Stockholm, 2012).

²² Bosse Sundin, *Ingenjörsvetenskapens tidevarv: Ingenjörsvetenskapsakademien, Pappersmassekantoret, Metallografiska institutet och den teknologiska forskningen i början av 1900-talet* (Umeå, 1981).

området blir det möjligt att identifiera ledande forskargrupper och forskningsmiljöer vars verksamhet sedan kan följas framåt och spåras bakåt i tiden. Materialkonsortieprogrammet, som löpte mellan 1990 och 2000 och som haft en stor strukturerande verkan på det svenska forskningssystemet, intar en central plats i undersökningen. En nackdel med upplägget är att det leder till en slagsida mot de delar av den svenska materialvetenskapen som ingick i programmen och mot de myndigheter som finansierade dem. Stora delar av den svenska materialvetenskapens finansiering kom genom kortare projektanslag vid sidan om programmen. Eftersom materialområdet är brett och tvärvetenskapligt till sin natur handlar det inte enbart om forskningsprogram inom materialvetenskap. Forskning om material har varit ett viktigt inslag också inom andra vetenskapsområden som mikroelektronik, livsvetenskaper och ytvetenskap. I studien ska också undersökas vad de olika tvärvetenskapliga centrumbildningarna, som svenska forskningsfinansierare introducerade efter internationell modell, haft för betydelse för den svenska materialvetenskapens struktur.

Metod och källor

Studien bygger på historisk metod. Underlaget består av litteratur och tidigare forskning samt skriftligt källmaterial och intervjuer. Tidigare studier om den svenska materialvetenskapens och materialteknikens utveckling saknas på det hela taget.²³ Den forskningspolitiska kontexten finns behandlad i ett antal vetenskapshistoriska och statsvetenskapliga studier. Hans Weinberger har i en studie om svensk teknisk och industriell forskningspolitik och forskningsfinansiering under efterkrigstiden behandlat ramprogrammet ytors fysik och kemi. Programmet spelade en viktig roll för utvecklingen av svensk ytvetenskap under 1980-talet. Inom ramen för programmet introducerades flera inslag, bland annat internationella utvärderingar, som kom att ingå i materialkonsortieprogrammet under 1990-talet.²⁴ Planeringsprocessen bakom materialkonsortierna och deras forskningspolitiska sammanhang har analyserats av statsvetaren Bo Persson.²⁵ Mats Benner har behandlat den svenska forskningspolitikens utveckling under 1990-talet. Benner tar vid där Weinberger och Persson slutar och skildrar de genomgripande förändringar i det svenska forskningslandskapet som skedde under perioden, med bildandet av de offentliga forskningsstiftelserna och de politiska konflikterna i samband med detta. Benner behandlar dessutom centrummodellens

²³ Det finns undantag, bland annat vad det gäller svensk synkrotronljusforskning. Se Olof Hallonsten, *Small science on big machines: Policies and practices of synchrotron radiation laboratories* (Lund, 2009); Idem., "Growing Big Science in a Small Country: MAX-lab and the Swedish Research Policy System", i *Historical Studies in the Natural Sciences* Vol. 41, No. 2, s. 179–215. Se dessutom: Eugenia Perez Vico, "An in-depth study of direct and indirect impacts from the research of a physics professor", i *Science and Public Policy* Vol 41 (2014), s. 701–709; Eugenia Perez och Patrik Sandgren, *Nanoteknikens innovationssystem* (Stockholm, 2007).

²⁴ Weinberger, *Nätverksentreprenören*.

²⁵ Bo Persson, *Motsträviga myndigheter: Sektorsforskning och politisk styrning under 1980-talet* (Stockholm: Institutet för studier av utbildning och forskning, 2001).

introduktion i det svenska forskningssystemet.²⁶ Institutssektorns och de svenska industriforskningsinstitutens framväxt, utveckling och finansiering har varit föremål för flera studier.²⁷

Undersökningens primärmaterial består huvudsakligen av utredningar, utvärderingar och rapporter från de finansierande myndigheterna. Genom detta material har det varit möjligt att följa större forskningssatsningar inom materialområdet. Offentligt tryck i form av forskningspropositioner och deras förarbeten har utnyttjats för att följa den svenska forskningspolitiken och komplettera litteraturen på detta område, framförallt vad det gäller perioden efter 2000 som i liten utsträckning behandlats av forskningen. Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) har bistått med statistik och uppgifter om forskningsprojekt ur sin databas. Det skriftliga materialet har kompletterats med intervjuer. Ett trettiotal intervjuer har genomförts med tongivande forskare vid framförallt de fem ledande universiteten med verksamhet inom materialområdet. Dessutom har personer verksamma med forskningsfinansiering intervjuats. En fullständig lista med intervjuer finns i slutet av rapporten.

Disposition

Studien är kronologiskt disponerad. Den inleds med ett kapitel som beskriver hur den moderna materialvetenskapen uppkom vid amerikanska universitet och forskningsinstitutioner under det kalla kriget. Till svenska universitet sprids den nya forskningsinriktningen genom kontakter med ledande forskningsmiljöer i USA inom framförallt ytfysik och materialfysik, men också inom andra områden som metallforskning och metallurgi. I det följande kapitlet behandlas hur svenska satsningar på avancerad materialforskning genomförs inom ett antal på varandra följande forskningsprogram. I centrum står de ramprogram som drevs i regi av STU under 1980-talet och de mikroelektroniksatsningar som inleddes vid samma tid. Följande kapitel behandlar materialkonsortieprogrammet, som samlade och strukturerade den svenska materialforskningen under 1990-talet. Studiens sista kapitel behandlar utvecklingen från 1990-talet och fram till idag, med tonvikt på de olika centrumprogram och satsningar som uppstod i materialkonsortieprogrammets kölvatten. Avslutningsvis sammanfattas några huvuddrag i den svenska materialvetenskapens utveckling från 1970-talet och fram till idag tillsammans med studiens huvudsakliga resultat.

²⁶ Mats Benner, *Kontrovers och konsensus: Vetenskap och politik i svenskt 1990-tal* (Stockholm: Institutet för studier av utbildning och forskning, 2001). Forskningspolitiken under denna period finns dessutom behandlad i Ulf Sandström (red.), *Det nya forskningslandskapet: Perspektiv på vetenskap och politik* (Stockholm: Institutet för studier av utbildning och forskning, 2002).

²⁷ Sundin, *Ingenjörsvetenskapens tidevarv*; Pettersson, *Handslaget*; Sverker Sörlin, *En ny instituttssektor: En analys av industriforskningsinstitutens villkor och framtid ur ett närings- och innovationspolitiskt perspektiv* (Stockholm, 2006).

Materialvetenskapens uppkomst: Internationell utveckling fram till 1970-talet

Detta bakgrundskapitel behandlar kortfattat hur materialvetenskapen och materialtekniken uppstod som vetenskapligt disciplin decennierna efter andra världskrigets slut. Syftet är att beskriva den moderna materialvetenskapens ursprung och hur nya perspektiv och metoder spreds till svenska universitet genom internationella forskarnätverk. Avsikten är att kapitlet ska ge en bakgrund till uppkomsten av centrala materialvetenskapliga miljöer i ett svenskt sammanhang och bidra till en förklaring av dessa miljöers skilda inriktning och specialisering.

Kapitlet inleds med en beskrivning av hur materialvetenskapen och materialtekniken (en: materials science and technology) uppstod som akademisk disciplin genom de stora och långvariga satsningar på tvärvetenskaplig och militärt inriktad materialforskning som gjordes vid ledande universitet i USA under det kalla kriget. Det fortsätter med en skildring av hur den nya materialvetenskapen spreds till och fick fotfäste vid svenska universitet under 1960- och 1970-talen. Medan bakgrundsskildringen om den amerikanska forskningen bygger på vetenskapshistorisk litteratur görs analysen av materialvetenskapens introduktion i ett svenskt sammanhang utifrån intervjumaterial. Detta eftersom det saknas tidigare forskning på området.

Bakgrundsbeskrivningen av materialvetenskapens uppkomst i USA är relativt utförlig. Anledningen till det är att det amerikanska inflytandet var centralt för områdets tidiga utveckling i Sverige. Impulser kom även från andra håll men det var i USA som den viktigaste utvecklingen skedde. Till det kommer att de vetenskapliga kontakterna mellan Sverige och USA var täta. I USA introducerades vid den här tiden också flera viktiga forskningsproblem och -inriktningar som präglade materialvetenskapens utveckling och spridning internationellt de kommande decennierna.

Materialvetenskapen som akademisk disciplin

Materialvetenskapen som akademisk disciplin uppstod vid amerikanska universitet under 1950-talet. Flera ledande universitet i USA inledde vid denna tid forskarutbildning och senare grundutbildning i materialvetenskap. Mot slutet av 1950-talet var begreppet vedertaget och började användas i såväl institutionsnamn som kursprogram för utbildningar på grund- och forskarnivå. Utvecklingen som ledde till materialvetenskapens formering som egen disciplin, i första hand den amerikanska utvecklingen, har behandlats i flera vetenskapshistoriska och vetenskapssociologiska studier. Till skillnad från andra nybildade vetenskapliga discipliner uppstod inte materialvetenskapen genom intern specialisering, utan genom att forskare från olika etablerade

vetenskapliga områden närmade sig varandra utifrån ett gemensamt intresse för studiet av material och i synnerhet sambandet mellan struktur och egenskaper hos material.²⁸

Satsningarna på materialvetenskaplig undervisning och disciplinens akademiska formering föregicks samtidigt av en materialvetenskaplig forskningspraktik, som uppstod tidigare och till stor del utanför universitetens organisationer. Enligt vetenskapshistorikern Stuart W. Leslie var den materialvetenskapliga omvandlingen under det kalla krigets inledande decennier unik genom att det var vid industriella och statliga forskningslaboratorier snarare än akademiska institutioner som transformationen huvudsakligen skedde.²⁹ Industriellt inleddes tvärvetenskaplig forskning inriktad på framtagning av nya material under mellankrigstiden vid nybildade forskningslaboratorier.³⁰ General Electrics (GE) Laboratory brukar beskrivas som det första industriella forskningslaboratoriet med en verksamhet bortom omedelbart industriellt problemlösande och etablerade tidigt ett arbetssätt inom materialområdet som byggde på medverkan av specialister från olika vetenskapliga discipliner.³¹ Detsamma gällde kemikoncernen Du Ponts forskningsstation i Wilmington, Delaware, som under 1930-talet bedrev forskning om polymera material i en tvärvetenskaplig grupp av organiska och fysikaliska kemister, som bland annat stod bakom utvecklingen av nylon.³²

En konceptuell förutsättning för materialforskningens snabba utveckling med genombrott på lokala platser var det så kallade "materialvetenskapliga paradigmet", det vill säga samtidiga studier av materials syntes, egenskaper, sammansättning och mikrostruktur. Det fordrar forskargrupper av en viss storlek. Sådana grupper fanns inte naturligt inom akademien, där det ämnesspecifika tenderar att begränsa gruppen till en professor med medarbetare som arbetar inom en del av paradigmet. Inom industrin med en mer problemorienterad än ämnesmässig syn på arbetet kom det sig därför naturligt att samla sådan expertis i brett sammansatta, uppdragsinriktade forskargrupper. Senare kom detta industriella arbetssätt att sprida sig till universiteten.

De militärt inriktade forskningssatsningarna under kriget innebar ett enormt uppsving för den amerikanska materialvetenskapen, liksom för andra vetenskapliga och tekniska

²⁸ Att redogöra för materialvetenskapens historiska utveckling ligger utom ramarna för den här studien. Bra sammanfattningar, med referenser till tidigare forskning, finns i den engelska materialvetaren Robert W. Cahns bok *The Coming of Materials Science* (London: Pergamon, 2001) och vetenskapshistorikern Bernadette Bensaude-Vincent's artikel "The construction of a discipline: Materials science in the United States", *HSPS*, vol 31, part 2 (2001).

²⁹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 213.

³⁰ John Kenly Smith Jr, "The Scientific Tradition in American Industrial Research", i *Technology and Culture* 31, No. 1 (1990).

³¹ Robert W. Cahn, *The Coming of Material Science* (London: Pergamon, 2001), s. 8–9.

³² David Hounshell, "Invention in the Industrial Research Laboratory: Individual Act or Collective Process?", i Robert J. Weber och David N. Perkins (red.), *Inventive Minds: Creativity in Technology* (Oxford: Oxford University Press).

områden. De organisationer och samarbeten som etablerades lade grunden till det kalla krigets forskningslandskap.³³ Militärens forskningsstöd avvecklades inte vid krigsslutet, utan institutionaliserades och breddades. Mellan 1955 och 1965 tredubblades de federala utgifterna (inflationsjusterat) för forskning och teknisk utveckling.³⁴ De nationella laboratorierna var viktiga institutioner för federal programorienterad forskning, inte minst inom materialvetenskapen, som drog nytta av tillgången till neutroner och annan central teknik för materialanalyser.³⁵ En betydande del av den amerikanska statens resurser kanaliserades till speciellt inriktade forskningslaboratorier, kopplade till de ledande forskningsuniversiteten, och till industrins forskningsavdelningar. Bell Laboratories bedrev under kriget forskning om halvledarmaterial, vilket ledde till utvecklingen av fungerande germanium- och kiseltransistorer och stimulerade en omfattande industriell och akademisk forskning om elektronikmaterial. Forskning om halvledarmaterial blev en huvudinriktning inom fasta tillståndets fysik. Inom flygindustrin bedrevs forskning om lättviktslegeringar och temperaturtåliga material till turbinblad och noskoner. Utvecklingen inom atomområdet (atomenergi och kärnvapen) och senare rymdområdet medförde speciella materialproblem. Detsamma gällde andra delar av industrin, som var beroende av prestanda och egenskaper hos nya sorters material för sin produkt- och systemutveckling.³⁶

Behoven hos försvarsindustri och militär inom materialområdet drev och stimulerade universitetens forskning och utbildning. Inte minst ledde de till nya finansieringsformer. Storskalig militär finansiering utvecklades till ett bestående inslag i det amerikanska universitetssystemet under 1950-talet. Materialvetenskapens akademiska utbyggnad utgjorde ett led i vetenskapens ”permanent mobilisering” under det kalla kriget. Leslie menar att materialvetenskapens formering vid MIT blev stilbildande, vetenskapligt och organisatoriskt.³⁷ Mot slutet av 1950-talet finansierades fyra femtedelar av den materialvetenskapliga forskningen vid MIT genom försvarsdepartementets budget.³⁸ Industriella anslag fanns visserligen inom viktiga tillverkningsområden som polymera material (plastmaterial), pulvermetallurgi och metallurgi, men de civila uppdragen var obetydliga i förhållande till den militära finansieringen. Dessutom var flertalet industriellt inriktade forskargrupper samtidigt starkt beroende av militära anslag.³⁹ Huvuddelen av den militärt inriktade materialforskningen bedrevs inom det nätverk av forskningslaboratorier som etablerats i anslutning till MIT under kriget. Samtidigt reformerades utbildningen, med nya program och forskarutbildningskurser inriktade mot generella materialvetenskapliga frågeställningar. En liknande bild framträder om

³³ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 190–191.

³⁴ Hallonsten (kommande 2016).

³⁵ John J. Rush, ”US Neutron Facility Development in the Last Half-Century: A Cautionary Tale”, i *Physics in Perspective*, vol. 17 (2015).

³⁶ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 193–194.

³⁷ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 210–211.

³⁸ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 202–203.

³⁹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 191.

man studerar Stanford University, som med MIT som förebild moderniserade sin forskning och undervisning i materialvetenskap under 1950-talet. Moderniseringen skedde på två olika fronter. Förändringarna finansierades till stor del genom militära kontrakt och uppdrag, med en tydlig tonvikt på forskning inom fysik och halvledarområdet. Samtidigt skedde en modernisering av undervisningen inom metallurgi. Målet var inte enbart att reformera den traditionella metallurgin, inriktad mot metallframställning. Metallurgiska metoder spelade dessutom en kritisk roll i forskning och framtagning av nya halvledarmaterial för elektroniska tillämpningar.

Under senare delen av 1950-talet tilldrog sig materialvetenskapen ett allt större politiskt intresse. Flera oberoende studier gjorda parallellt av forskningsorgan knutna till det amerikanska försvaret pekade samfällt på behovet av samordnade satsningar och utökad forskningsstöd, om inte materialvetenskapen skulle bli en svag punkt i de amerikanska försvarsansträngningarna. Sputnik och planerna på ett intensifierat amerikanskt rymdprogram markerade inledningen på en period av ökad federal forskningsfinansiering.⁴⁰ Samtidigt upplevdes materialvetenskapens fokus på tillämpad forskning i industriella och statliga laboratorier som ett problem. Farhågorna var att detta skulle leda till en utarmad vetenskap och undermålig teknologi. En av huvudslutsatserna i rapporten *Strengthening American Science*, som presenterades för den amerikanska regeringen 1958, var att den akademiska materialvetenskapen borde stärkas och byggas ut. Mer specifikt rekommenderades ökade tekniska anslag till utrustning och instrumentering samt längre forskningskontrakt för mer kontinuitet och stabilitet.⁴¹ En viktig komponent borde dessutom vara en utbildningssatsning. En genomgång av verksamheten vid statliga och industriella laboratorier och de viktigaste universiteten visade att problemet inte enbart handlade om forskning utan lika mycket om utbildning, att alltför få studenter utbildades på hög nivå inom materialvetenskapliga discipliner. Rekommendationen blev en kraftig utbyggnad av forskarutbildningen det kommande decenniet.⁴²

De politiska diskussionerna omsattes i handling. Försvarsbudgeten 1960 innebar en ökning av anslagen till materialvetenskap med 25 procent, som till stor del var riktad mot forskning och undervisning vid universiteten.⁴³ Utbildningssatsningen, tillsammans med en intensifierad forskning, skulle bedrivas vid ett antal interdisciplinära forskningslaboratorier (IDL), lokaliserade i anslutning till ledande universitet med starka materialvetenskapliga forskningsmiljöer. Intentionen hos IDL-programmets arkitekter var att forskningen vid dessa nybildade centra skulle vara tvärvetenskaplig och knyta samman materialinriktad forskning inom framförallt det fasta tillståndets

⁴⁰ Bensaude-Vincent, "Building Multidisciplinary Research Fields".

⁴¹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 218–219.

⁴² Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 11–13; Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 203.

⁴³ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 219.

fysik, som halvledarmaterial och elektroniska komponenter samt lågtemperaturfysik, supraleddning och magnetism, med avancerad metallurgisk forskning och forskning om keramiska material.⁴⁴ Laboratorierna inhystes i nya byggnader och i programmet ingick dessutom betydande anslag till vetenskaplig instrumentering. Förebilderna var de industriella och statliga forskningslaboratorier som redan bedrev materialforskning i tvärvetenskapliga grupper, en modell som förhoppningen var att man kunde inympa i det akademiska systemet:

*The architects of the interdisciplinary laboratories program had backgrounds in industrial and government laboratories (Bell Labs, GE, Los Alamos), where multidisciplinary research was the rule rather than the exception. They had seen for themselves the advantages of a problem- (rather than discipline-) oriented approach in the development of integrated circuits, hard semiconductors, very high-temperature alloys, and other material breakthroughs, and so wanted to foster a similar spirit in the universities.*⁴⁵

Inom universitetssystemet fanns motsvarigheter inom närliggande områden. En organisatorisk modell för efterkrigstidens tvärvetenskapliga universitetscentrum-bildningar utgjordes av Research Laboratory of Electronics (RLE) vid MIT, som hade bildats 1946 ur den militära radar- och elektronikforskningen vid Radiation Laboratories (RadLab). Verksamheten bedrevs interdepartementellt och skar genom befintliga institutioner.⁴⁶ Omorganisationen av materialvetenskapen vid MIT, med bildandet av Center for Materials Science and Engineering (CMSE), syftade till att åstadkomma en liknande samordning inom materialområdet.⁴⁷ Försvarsdepartementet stod för huvuddelen av IDL-programmets finansiering genom Advanced Research Projects Agency (ARPA). Bidrag kom dessutom från den amerikanska atomenergikommissionen (AEC) och rymdstyrelsen NASA. I en första omgång 1960 beslutade ARPA om inrättandet av tre IDL-laboratorier, vid Cornell University, University of Pennsylvania och Northwestern University. Programmet utvidgades följande år och ytterligare fem laboratorier inrättades vid MIT, Brown, Harvard, University of Chicago och Stanford University. Sammantaget finansierade ARPA tolv IDL-centra medan ytterligare fem bildades med stöd av AEC och NASA.⁴⁸

⁴⁴ Finansiering av materialvetenskaplig forskning genom ARPA fördelade sig 1957 med 35 procent inom fasta tillståndets fysik, 29 procent metallurgi, 10 procent keramiska material. Mindre anslag gick till kemisk materialforskning och forskning om andra sorters material. Bensaude-Vincent, "The Construction of a discipline", s. 226.

⁴⁵ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 219–220.

⁴⁶ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 25–32.

⁴⁷ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 201 ff.

⁴⁸ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 221–223; Bensaude-Vincent, "The Construction of a Discipline", s. 226–227.

Programmet, som löpte mellan 1961 och 1972, spelade en viktig roll i etableringen av en akademisk materialvetenskap vid amerikanska universitet. Enligt Leslie, som framförallt har studerat laboratorierna vid MIT och Stanford University (det största respektive näst största inom programmet) gick betydelsen bortom det som kan utläsas ur siffrorna.⁴⁹ Undervisningsformerna förnyades inom materialvetenskapen, liksom det vetenskapliga innehållet i universitetens verksamhet. Samtidigt utgjorde forskning som bedrevs i anslutning till IDL-centra en betydande del av båda universitetens verksamhet. Som mest var en femtedel av den forskande personalen vid MIT under 1960-talet kopplad till CMSE.⁵⁰ Motsvarigheten vid Stanford, Center for Materials Research (CMR), fick en inriktning mot elektronik och halvledarforskning. Programmet överfördes 1972 till National Science Foundation (NSF), som drev det vidare under det nya namnet Materials Research Laboratories (MRL). Budgeten minskade med en tredjedel, men samtliga sjutton centrum fick fortsatt finansiering inom ramen för ett mer civilt inriktat program.⁵¹ Leslie menar att militärens finansiering av den akademiska materialvetenskapen under ett formativt skede fick betydande långsiktiga konsekvenser. Ett vetenskapligt nätverk av laboratorier skapades vid de ledande universiteten, som fortsatt dominerade materialvetenskapen under 1970-talet och framåt. Investeringarna och satsningarna på utbildning skapade ett stigberoende som angav riktningen för den fortsatta utvecklingen. Militära intressen och behov inom rymd- och flygindustri skapade specialiseringar inom fasta tillståndets fysik, elektronik och studiet av elektroniska och optiska egenskaper hos material.⁵² Mindre uppmärksamhet riktades mot andra klasser av material med mer renodlat civila användningsområden, som exempelvis polymera material. Militär finansiering fortsatte att vara central för materialvetenskapen under hela det kalla kriget. En effekt av de stora militära elektroniksatsningarna var uppbyggnaden av en omfattande amerikansk halvledarindustri, som efterhand blev teknikdrivande och som bidrog med metoder och teknologier som i hög grad formade materialvetenskapens utveckling under 1970- och 1980-talen.

Industriforskningsinstitutet och svensk militär materialforskning

Avsnittet ovan har kortfattat behandlat utvecklingen vid amerikanska forskningslaboratorier och universitet och syftar till att teckna en bakgrund till den moderna materialvetenskapens etablering vid svenska forskningsinstitutioner under 1960- och 1970-talen. Att den amerikanska utvecklingen har stått i centrum handlar delvis om att den tillgängliga vetenskapshistoriska litteraturen huvudsakligen behandlar amerikanska förhållanden. Men det speglar också den amerikanska forskningens faktiska dominans

⁴⁹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 210–211.

⁵⁰ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 210–211.

⁵¹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 230–231.

⁵² Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 231.

under perioden. Materialvetenskapen under de första decennierna efter kriget var i allt väsentligt en amerikansk disciplin och den spreds till svenska universitet och institutioner till stor del genom kontakter med den amerikanska forskningen. Militärens finansiering hindrade inte de nya idéernas och metodernas internationella spridning. Den amerikanska hållningen till ett transatlantiskt forskningsutbyte under det kalla kriget präglades av en betydande öppenhet. Europeiska forskare kunde delta i utbildnings- och utbytesprogram i USA, som ett led i återuppbyggnaden av det europeiska forskningssystemet efter kriget.⁵³ Ett antal senare tongivande svenska forskarstuderande och postdoktorer kom den vägen, som vi ska se, i kontakt med ledande amerikanska forskningsmiljöer. Med sig tillbaka tog de idéer och kunskap om nya tekniker och bidrog till etablerandet av nya materialvetenskapliga perspektiv inom sina respektive discipliner. Militär finansiering gick dessutom från det amerikanska försvarsdepartementet till forskargrupper utanför USA.

Materialvetenskapen var visserligen ny som akademisk disciplin, men forskning om material bedrevs redan tidigare vid svenska universitet och forskningsinstitut. Flera teknik- och vetenskapshistoriska studier har behandlat det svenska forskningssystemets uppbyggnad under efterkrigstiden.⁵⁴ En stor del av den svenska forskningen om material bedrevs inom det system av forskningsinstitut som byggdes upp med start under mellankrigstiden och som fick en nyckelroll inom den industriellt tillämpade tekniska forskningen. Institutssektorns uppbyggnad svarade mot den svenska industristrukturen, med en tonvikt på skogsindustri och järn- och stålindustri. Förlagan och modellen för institutssektorns utbyggnad var Svenska institutet för trä- och skogsforskning (senare STFI) som inrättades 1942 och som bedrev forskning inom bland annat träkemi och massaforskning, inriktad mot skogsindustrins behov. Den Malmska utredningen – som lämnade flera delbetänkanden mellan 1942 och 1945 – rekommenderade vidare inrättandet av institut inom livsmedelsteknik och textiltforskning. Metallografiska institutet, som bildats redan under mellankrigstiden, intog med huvudsakligen privat finansiering till en början en ställning vid sidan om de tre övriga instituten, men inlemmades formellt i systemet under 1960-talet samtidigt med namnbytet till Institutet för metallforskning (IM). Flera nya forskningsinstitut bildades under perioden fram till 1970-talet, många med inriktning mot forskning om material och materialrelaterade problemområden. Institut bildades bland annat för optisk forskning (1955), silikatforskning (1956), verkstadsteknisk forskning (1964), gjuteriteknik och metallurgi (1965), korrosion (1965), ytkemi (1968), förpackningsforskning (1970), plast- och gummiteknisk forskning (1977). Flera av instituten lokaliserades i anslutning till de tekniska högskolorna i Stockholm och Göteborg. Föreståndarna hade många gånger delade tjänster och verkade dessutom som professorer vid universiteten. Silikatforskningsinstitutet och Ytkemiska institutet (YKI)

⁵³ John Krige, *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe* (Cambridge, MA: MIT Press, 2006), s. 9–14.

⁵⁴ Weinberger, *Nätverkentreprenören*; Pettersson, *Handslaget*.

bildades genom avknoppningar från forskningsinstitutioner vid Chalmers och KTH. Bildandet av Styrelsen för teknisk utveckling (STU) 1968 innebar förändrade stödformer till instituten, en modell med ramanslag infördes samtidigt som finansieringen ökade väsentligt fram till mitten av 1970-talet.⁵⁵

Storleksmässigt stod de svenska industriforskningsinstitutet emellertid helt i skuggan av den militära institutforskningen. Under decennierna närmast efter kriget var Försvarets forskningsanstalt (FOA) den enskilt största forskningsinstitutionen i Sverige, med en volym som motsvarade den samlade forskningsverksamheten vid de två tekniska högskolorna i Stockholm och Göteborg. Som mest sysselsattes omkring 1500 personer i början av 1970-talet.⁵⁶ En stor del av forskningen rymdes inom det svenska atomvapenprogrammet, men materialforskning utvecklades till en viktig forskningsinriktning. En enhet för materialvetenskap (FOA M) bildades i början av 1960-talet. Enheten samlade materialforskningen vid FOA och finansierade dessutom verksamhet vid de tekniska högskolorna, silikatforskningsinstitutet och Institutet för metallforskning. En separat materialinstitution inom FOA bildades 1970 i Ursvik norr om Stockholm, med metoder som i linje med internationell forskning utgick från kopplingen mellan egenskaperna hos nya och förbättrade material och deras atomära och molekylära struktur och sammansättning.⁵⁷ Forskningen gällde bland annat skyddsmaterial, som keramiska pansarmaterial, och verkan mellan projektil och pansar som underlag till bland annat industrins stridsfordonsprojekt. En viktig del av verksamheten skedde i anslutning till de stora flygplansprojekten. Mellan 1970 och 1980 drevs ett speciellt kolfiberkompositprogram tillsammans med FMV, med sikte på nya konstruktionsmaterial till flygplanskomponenter.⁵⁸ Med sin storlek var FOA dessutom betydelsefull som arbetsmarknad för forskare och ingenjörer och materialforskningen var inget undantag. Börje Johansson och Karl-Fredrik Berggren, som senare spelade viktiga roller i svensk teoretisk materialfysik, hade båda en bakgrund med forskning vid FOA 4, avdelningen för kärnfysik.⁵⁹ Militär finansiering gick även senare till svensk materialvetenskap. FMV stod bakom det nationella mikroelektronikprogrammet (NMP) under 1980-talet, med finansiering till den medverkande industrin. Mellan 1990 och 1995 drev Nutek i samarbete med FMV ett speciellt skyddskeramik-kon-sortium, med inriktning på utveckling, konstruktion och produktion av avancerade pansarmaterial, parallellt med de civila inriktade materialkonsortier som finansierades tillsammans naturvetenskapliga forskningsrådet.⁶⁰

⁵⁵ För detaljer om institutssektorns utveckling, se: Pettersson, *Handslaget*.

⁵⁶ Wilhelm Agrell, *Vetenskapen i försvarets tjänst: De nya stridsmedlen, försvarsforskningen och kampen om det svenska försvarets struktur* (Lund: Lunds universitet, 1989).

⁵⁷ Börje Östman, "Materialforskning", i Ann Katherine Littke och Olle Sundström (red.), *Försvarets forskningsanstalt 1945–1995* (Stockholm: FOA, 1995), s. 89.

⁵⁸ Östman, "Materialforskning", s. 90–93.

⁵⁹ Intervju med Börje Johansson.

⁶⁰ Östman, "Materialforskning", s. 93.

Materialvetenskapens spridning till svenska forskningsinstitutioner, civila och militära, med start under 1960- och 1970-talen underlättades genom att kvalificerad forskning redan bedrevs vid svenska universitet och institut inom flera av de materialvetenskapliga ursprungsdisciplinerna. Inte minst gällde detta metallurgin. Metallografiska institutet (senare Institutet för metallforskning) etablerade sig under mellankrigstiden som en forskningsinstitution med internationellt anseende. Introduktionen av röntgendiffraktion som analysmetod möjliggjorde studiet av kristallstrukturen hos metalliska material. Metallografiska institutets vetenskapliga ledare var Arne Westgren och Gösta Phragmén, båda med en bakgrund inom fysikalisk kemi.⁶¹ En professur i metallografi inrättades vid KTH under 1930-talet.⁶² Mellan KTH och MIT, som ledde omvandlingen av metallurgin i USA, fanns vissa kontakter inom utbildningsområdet. Flera studenter från KTH fick stipendier för ettåriga forskningsvistelser vid MIT. En svensk forskare som genom dessa kanaler kom i kontakt med den amerikanska forskningen var kemisten och metallurgen Mats Hillert, som mellan 1953 och 1956 genomgick forskarutbildning vid MIT. Hillerts handledare var Morris Cohen, som var drivande i omdaning av ett metallurgiskt grundat materialvetenskapligt forsknings- och utbildningsprogram vid MIT.⁶³ Efter doktorsexamen återvände Hillert till Stockholm där han 1961 blev utnämnd till professor i metallografi vid KTH och inledde en modernisering av både grundutbildning och forskarutbildning under intryck av erfarenheterna från MIT.⁶⁴

Moderniseringen omfattade bland annat introduktionen av kurser i forskarutbildningen efter amerikansk förebild. Innehållet i kurserna reviderades samtidigt. Med sig tillbaka till Stockholm hade Hillert dessutom ett välutvecklat kontaktnät genom vilket metallurgin vid KTH fick en stark internationell anknytning till ledande miljöer i USA, i första hand MIT men senare även Northwestern University i Chicago.⁶⁵ De tidiga kontakterna med amerikansk materialvetenskap utmärker Hillert i ett svenskt sammanhang. Ett tecken på hans internationella anseende var att han, som en i en liten skara utvalda europeiska forskare, 1961 inbjöds att medverka i samlingsvolymen *Perspectives on Materials Science* som drog upp riktlinjerna för den nya materialvetenskapen.⁶⁶ Arbetet med boken leddes av fysikern Frederick Seitz, som var aktiv i debatten om de amerikanska materialprogrammen. Seitz företrädde en pragmatisk syn på hur den nya materialvetenskapen skulle bedrivas och menade att man borde hitta organisationsformer som möjliggjorde tvärvetenskapligt samarbete mellan specialister från olika vetenskapliga discipliner, vilket också blev utgångspunkten för IDL-programmets

⁶¹ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 71.

⁶² Torsten Althin, *KTH 1912–1962: Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm under 50 år* (Stockholm: KTH, 1970), s. 133.

⁶³ John Ågren, "A short biography of Mats Hillert"; Intervju med Mats Hillert den 19 oktober 2015.

⁶⁴ Althin, *KTH 1912–1962*, s. 133.

⁶⁵ Intervju med John Ågren den 14 september 2015; Intervju med Mats Hillert den 19 oktober 2015.

⁶⁶ Laurence Himmel, *Perspectives on Materials Science* (Washington, DC: Office of Naval Research, 1963).

centrumbildningar.⁶⁷ Samlingsvolymen var ett led i denna sammanfogning av framförallt metallurgin och det fasta tillståndets fysik, med målsättningen att hitta gemensamma perspektiv och framtida forskningsinriktningar. Flertalet av kapitlen var skrivna av kommittéer bestående av amerikanska forskare. Tillsammans med ett antal brittiska forskare var Hillert en av få européer som medverkade.⁶⁸ Senare under 1970-talet var Mats Hillerts forskargrupp vid KTH drivande i uppbyggnaden av ett internationellt forskningssamarbete som syftade till utvecklingen av termodynamiska och datorbaserade modeller av fasomvandlingar i stål och andra legeringar.⁶⁹

En annan materialvetenskaplig forskningsinriktning som tidigt etablerade sig vid svenska universitet var polymerteknologin och forskningen om polymera material. Internationellt skedde en stor del av forskningen inom området vid industrins forskningslaboratorier, medan den akademiska polymervetenskapen utvecklades senare. Amerikanska kemiföretag som Du Pont var sedan mellankrigstiden tekniskt och kommersiellt ledande, men det var framförallt i Japan som polymervetenskapen tidigt blev ett akademiskt forskningsämne vid universiteten. KTH i Stockholm var ett av de första europeiska universiteten som inledde forskning och en modern forskarutbildning inom ämnet. En professur i polymerteknologi inrättades 1961. Dess första innehavare var Bengt Rånby, som spelade en central roll i uppbyggnaden av svensk polymervetenskap efter internationell modell. Rånby disputerade vid Uppsala universitet 1952 med nobelpristagaren The(odor) Svedberg som handledare och tillbringade huvuddelen av 1950-talet utomlands vid amerikanska forskningsinstitutioner. Liksom Mats Hillert kom Bengt Rånby genom sina amerikanska samarbeten i kontakt med ny materialvetenskapligt inriktad utbildning och universitetsforskning som han förde med sig tillbaka till Sverige och Skandinavien. Mellan 1952 och 1953 bedrev han, med stipendium från Du Pont, forskning om syntetiska polymerer vid Polytechnic Institute of Brooklyn i New York, som tillsammans med University of Massachusetts i Amherst hörde till de första akademiska institutionerna i USA som etablerade speciell forskningsverksamhet inom polymerområdet.⁷⁰ Institutets forskning leddes av professor Herman F. Mark, som inrättade den första grundutbildningen i USA inom polymerområdet. Efter en tid som universitetslektor vid Uppsala universitet återvände Rånby 1955 till USA för en tjänst vid American Viscose Corporation för att tre år senare bli professor i massa- och pappersteknik vid State University i New York och chef för Empire State Paper Research Institute i Syracuse.⁷¹

⁶⁷ Mody och Choi, "From Materials Science to Nanotechnology: Interdisciplinary Center Programs at Cornell University, 1960–2000", s. 126–127.

⁶⁸ Himmel, *Perspectives on Materials Science*.

⁶⁹ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

⁷⁰ Intervju med Ann-Christine Albertsson den 19 maj 2016.

⁷¹ Ann-Christine Albertsson, "In memoriam. Professor Bengt Rånby", i *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 34 (2000), s. 439–441; Idem, "Bengt Rånby Honored", i *Journal of Macromolecular Science. Pure and Applied Chemistry*, A33(10) (2000), s. 1337–1339.

Med utgångspunkt i sina internationella kontakter och erfarenheter etablerade Rånby en modern grund- och forskarutbildning och forskning inom polymerteknologi vid institutionen på KTH. Institutionens verksamhet var brett inriktad på framställning, karaktärisering och egenskaper hos olika sorters polymera material. En viktig del i grunden var utbyggnaden av en utrustningspark med bland annat elektronmikroskop och utrustning för karaktärisering av polymera material med elektronspinnresonans. Breda samarbeten runt material och materialval fanns med svensk industri. Ett samarbete fanns med materialforskningen vid FOA, som regelbundet placerade forskningspersonal vid institutionen. Forskningen inom polymerteknologi vid Chalmers byggdes upp senare under 1970-talet. Det skedde i anslutning till verksamheten i Stenungsund, där oljebolaget Esso uppförde en krackningsanläggning under 1970-talet.⁷² En professur i polymerteknologi inrättades 1977 vid Chalmers med Per Flodin som första innehavare. En forskningsgrupp fanns sedan tidigare vid Chalmers under ledning av Erling Sörvik, som med stöd av STU samarbetade nära med Stenungsund. Flera av forskarna hade en bakgrund från Uppsala och Stockholm, bland andra Josef Kubát som 1969 blev professor i polymera material vid Chalmers och som hade varit verksam vid forskningsinstitutet STFI och Rånbys institution vid KTH. En motsvarande professur i polymera material inrättades 1983 vid KTH med Jan-Fredrik Jansson som första innehavare.⁷³ Rånby var drivande i etableringen av ett kollektivt forskningsinstitut för plast- och gummiteknisk forskning (PGI) i Stockholm 1977.

De materialvetenskapliga forskargrupper som Rånby och Hillert byggde upp vid KTH under 1960-talet var ensamma i sitt slag inom landet och de hade sina viktigaste vetenskapliga kontaktytor utomlands. Mer omfattande och spridda var de svenska kontakterna med amerikanska forskningsmiljöer inom den materialinriktade fysiken. Under intryck av den internationella utvecklingen inom halvledarområdet byggdes den svenska forskningen inom fasta tillståndets fysik ut under loppet av 1960-talet. Nya professorer inrättades vid universiteten och de tekniska högskolorna. Internationellt var industrin teknikdrivande och metoder som fick stor betydelse för materialvetenskapens fortsatta utveckling, bland annat litografiska tekniker, kom ur industriell forskning, utveckling och produktion. Kopplingarna till den akademiska forskningen var starka. Hermann Grimmeiss, som blev professor i fasta tillståndets fysik vid Lunds universitet 1965, hade en industriell bakgrund från elektronik- och telekoncernen Philips. För etableringen av fasta tillståndets fysik vid svenska universitet inrättades ett program med specialstipendier för forskarstudier utomlands i början av 1960-talet. Stipendieprogrammet finansierades gemensamt av forskningsråd och berörda militära och civila myndigheter. Bakom programmet (med finansiering av ett stipendium vardera) stod naturvetenskapliga forskningsrådet, tekniska forskningsrådet, atomforskningsrådet, FOA och AB Atomenergi. Stipendiet betalade ett års studier vid utländskt universitet

⁷² Intervju med Ann-Christine Albertsson den 19 maj 2016.

⁷³ Ulf Gedde, Ann-Christine Albertsson och Bengt Rånby, "Jan-Fredrik Jansson" (utkast till minnesruna i svenska dagstidningar).

och behöriga att söka var inte enbart fysiker med inriktning mot elektronik och halvledarmaterial, utan programmet täckte även närliggande ämnen som metallografi och metallkemi. Inriktningen stod alltså väl i linje med den breda materialvetenskapen internationellt.⁷⁴

Ytvetenskapen och tunnfilmstekniken som nytt forskningsområde

Ett av de materialvetenskapliga områden som internationellt upplevde den snabbaste utvecklingen under 1960- och 1970-talen var det ytvetenskapliga. Rymdforskningen tryckte på. Området hängde nära samman med halvledarfysiken, med problem rörande undersökning och manipulering av ytor. Flera nya metoder för karakterisering och analys av ytor och ytfenomen utvecklades vid universitet och industriella forskningslaboratorier i framförallt USA. Metoderna byggde på ny instrumentteknik som i sin tur öppnade upp nya forskningsområden. I bakgrunden fanns utvecklingen av ultrahög-vakuumenteknik som möjliggjorde preparering och bibehållandet av substrat utan kontamination från omgivningen under tillräckligt långa tidsperioder för att vetenskapliga studier skulle bli möjliga. Framsteg inom detta område, bland annat täta vakuumkanare av rostfritt stål som motstod höga temperaturer, möjliggjorde undersökningar av kristallstrukturer med low energy electron diffraction (LEED), som blev en nyckelteknologi inom tidig ytvetenskap. En annan central teknologi som möjliggjordes genom tillgången till ultrahögvakuum var foto- och Auger-elektron spektroskopi. Medan studier av elektrondiffraction med LEED ger information om kristallstruktur, visar fotoelektron spektroskopi elektronstruktur och Auger-elektron spektroskopi ytans kemiska sammansättning. Metoderna förutsätter alla tillgång till ultrahögvakuum och användes ofta tillsammans för undersökningar inom forskningsområden bortom halvledarfysiken.⁷⁵

Ytvetenskapen var ett område där Sverige hade starka akademiska traditioner. Ett vetenskapligt centrum fanns under 1960-talet vid Uppsala universitet där fysikern Kai Siegbahn bedrev forskning runt och utvecklade metoder för elektron spektroskopiska undersökningar av kemiska strukturer och bindningar.⁷⁶ Siegbahns forskning ledde bland annat till utvecklingen av analysmetoden ESCA (electron spectroscopy for chemical analysis), som fick bred spridning internationellt och som snabbt blev en av de centrala analysmetoderna inom ytvetenskapen för studiet av den kemiska sammansättningen hos ytor.⁷⁷ Forskning om ytor och material med utgångspunkt i

⁷⁴ Fasta tillståndets fysik-stipendier, *Teknisk tidskrift* H41, 1962.

⁷⁵ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 404–408.

⁷⁶ Kai Siegbahn (1918–2007) var professor i fysik vid KTH i Stockholm 1951–54 och vid Uppsala universitet 1954–84. Siegbahn belönades 1981 med nobelpriset i fysik som han delade med Nicholas Bloembergen och Arthur Schawlow. Idag är ESCA mer känt under beteckningen XPS.

⁷⁷ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 408.

denna teknik och vidareutveckling av elektronspektroskopin som ytvetenskaplig metod definierade, och definierar fortfarande, till stor del forskningen inom fysik vid Uppsala universitet. Flera tidigt tongivande forskare inom svensk ytfysik hade sin bakgrund vid Uppsala universitet. Bland dessa fanns Stig Lundqvist och Stig Hagström, som bröt upp från Uppsala universitet och byggde upp viktiga forskningsmiljöer vid Chalmers i Göteborg respektive Linköpings universitet.⁷⁸

De tillhörde båda en då yngre generation fysiker som introducerade nya vetenskapliga perspektiv och metoder genom sina internationella samarbeten. Stig Lundqvist disputerade vid Uppsala universitet 1955 och tillbringade därefter en tid som forskare vid University of Pennsylvania. Efter hemkomsten till Sverige fick han först en laboratur och senare en professur i teoretisk fysik 1963 vid Chalmers i Göteborg. Lundqvists forskningsintressen låg i linje med den nya internationella ytvetenskapen, som han bidrog till att introducera vid institutionen. Dessutom var han en skicklig nätverksbyggare. Under sin tid vid University of Pennsylvania (som ingick i den första grupp om endast tre amerikanska universitet som fick statligt stöd för att bygga upp interdisciplinära materiallaboratorier) lade han grunden till ett internationellt kontaktnät som successivt utvecklades och kompletterades de följande åren. I detta ingick bland andra fysikern och den senare nobelpristagaren Robert Schrieffer, som var verksam vid University of Pennsylvania, och hans doktorand John Wilkins som byggde upp en forskargrupp vid Cornell University.⁷⁹ Andra forskare vid fysikinstitutionen etablerade egna kontakter eller utnyttjade de upparbetade kontakterna med amerikanska universitet till forskningsvistelser och samarbeten. Exempelvis var Gösta Brogren tidigt med och skapade förutsättningar, tillsammans med Peter Myers och Stig Hagström under dennes korta tid vid Chalmers, för Chalmers tidiga och starka position inom fotoelektronspektroskopin med Per-Olof Nilssons och Lars Walldén's grupper och för Torgny Gustafssons (University of Pennsylvania och Rutgers University) och Ingolf Lindaus (Stanford University) internationella karriärer.⁸⁰ Brogren startade flera experimentella forskningsområden på Chalmers. Myers, som var utbildad i Storbritannien och som hade forskning i Kanada och vid AB Atomenergi i Studsvik bakom sig innan han kom till Chalmers, var drivande i utbildningen inom fasta tillståndets fysik vid Chalmers. Gudmund Borelius startade samtidigt vid KTH i Stockholm en utbildning i teknisk fysik med ett stort inslag av materialfysik.⁸¹ Enligt Bengt Lundqvist var Chalmers under denna tid en utpräglad internationell miljö, med regelbundna forskarutbyten i båda riktningar. Flera stora konferenser inom ytvetenskap och närliggande fält hölls i universitetets regi, bland annat ett nobelsymposium

⁷⁸ Intervju med Anders Flodström; Intervju med Bengt Lundqvist; Intervju med Jan-Eric Sundgren.

⁷⁹ Robert Schrieffer var en av upphovsmännen till den så kallades BCS-teorin om supraleddning, för vilket han fick nobelpriset i fysik 1972.

⁸⁰ Uppgifter från Bengt Lundqvist (e-post den 29 mars 2016).

⁸¹ Uppgifter från Tord Claeson.

sommaren 1973 som samlade internationellt ledande fysiker till Göteborg för en veckas diskussioner.⁸² En tvåveckors sommarskola i ytvetenskap, med omvittnat starkt internationellt genomslag, hölls på Aspenäsgråden sommaren 1983.⁸³

Stora investeringar gjordes samtidigt i modern vetenskaplig utrustning, vilket möjliggjorde uppbyggnaden av en ytvetenskaplig forskning med internationell standard och öppnade upp nya forskningsområden för svenska fysiker. Chalmers, Lund och Linköping genomförde omfattande investeringar i elektronmikroskopi och byggde upp en av världens största maskinparker på området.⁸⁴ I detta avseende spelade de breda kontaktytorna mot den internationella forskningen en viktig roll. Samarbeten och forskarutbyten skedde förutom med University of Illinois, Northwestern University, Cornell University och University of Pennsylvania också med forskningslaboratorier som Argonne National Laboratory och National Bureau of Standards (NBS). Stig Andersson, som disputerade vid Chalmers 1970 på en avhandling om undersökningar av metall- och halvledarytor med hjälp av LEED, hade arbetat nära samman med amerikanska specialister på området vid NBS i USA.⁸⁵ Tord Claeson, en annan ung forskare, forskade om supraledning vid University of California i San Diego och satte upp ett eget lågtemperaturlaboratorium vid Chalmers när han återvände 1966.⁸⁶ Samarbeten internationellt byggdes även upp inom den kondenserade materiens teori där bland andra Lars Hedin, som disputerade 1965, var verksam vid Argonne National Laboratory under en tid. Tillsammans med Bengt Lundqvist bedrev Lars Hedin teoretisk forskning om elektronstrukturer hos atomer, molekyler och material. Mångpartikelteori utnyttjades som teoretiskt redskap för att beskriva Coloumb-krafterna mellan elektronerna. Tillämpningar på den homogena elektrongasen blev utgångspunkt för forskning inom täthetsfunktionalteori (DFT). Bengt Lundqvist arbetade tillsammans med Stig Andersson och genomförde teoretiska studier som kompletterade och underbyggde hans experimentella LEED-studier av ytors struktur och fysik.⁸⁷

En betydelse liknande Stig Lundqvists vid Chalmers fick Stig Hagström för utvecklingen av den materialvetenskapligt inriktade fysiken vid Linköpings universitet. Men hans kontaktytor med den amerikanska forskningen var andra. Hagström var verksam vid akademiska miljöer på den amerikanska västkusten inriktade mot halvledarforskning, med Stanford University och University of California i Berkeley och närliggande laboratorier som vetenskapliga centrum. De organisatoriska förutsättningarna var dessutom helt annorlunda. Medan fysikinstitutionen vid Chalmers redan under 1960-talet var en stor forskningsmiljö med välutrustade laboratorier var

⁸² Intervju med Bengt Lundqvist.

⁸³ Uppgifter från Bengt Lundqvist (e-post den 29 mars 2016).

⁸⁴ Uppgifter från Lars Hultman.

⁸⁵ Stig Anderssons avhandling hade titeln *Low-energy electron diffraction studies of metal and semiconductor surfaces*. Intervju med Bengt Lundqvist.

⁸⁶ Intervju med Tord Claeson.

⁸⁷ Intervju med Bengt Lundqvist.

forskningen vid Linköping inledningsvis av betydligt mindre omfattning. Linköping var en ny högskola som grundades 1969 och som blev universitet 1975. Bildandet av nya tekniska högskolor och universitet under 1970-talet gav effekter bortom det som politikerna planerade och gav i uppdrag för, nämligen möjligheter till nischning och profilering. Inom materialvetenskapen var det framförallt Linköpings tekniska högskola (senare den tekniska fakulteten inom universitetet) som utnyttjade denna möjlighet till inriktning mot ett relativt nytt ämne i snabb utveckling. Hagström kom även han ursprungligen från Uppsala universitet där han under forskarutbildningen ingick i Kai Siegbahns grupp. Mellan 1964 och 1966 var han verksam i USA, inledningsvis vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) och senare vid Lawrence Berkeley Laboratory i Kalifornien med verksamhet inriktad mot elektronspektroskopi (ESCA) liknande den som bedrevs i Siegbahns grupp vid Uppsala universitet. Efter hemkomsten till Sverige var han en tid verksam som universitetslektor i fysik vid Chalmers innan han 1969 flyttade sin verksamhet till den nybildade tekniska högskolan i Linköping.⁸⁸

Mot bakgrund av dessa kontakter med amerikanska miljöer, inriktade mot halvledarfysik, byggdes en materialvetenskap i Linköping upp med ett antal delvis skilda inriktningar. Till att börja med skapades en forskargrupp inom teoretisk spektroskopisk materialfysik. Verksamheten utgick från den spektroskopiska traditionen från Uppsala universitet, men tog även intryck av nyare amerikansk forskning inom området. Forskning om synkrotronljus bedrevs vid Stanford University i början av 1970-talet i anslutning till partikelacceleratorn SLAC.⁸⁹ Med synkrotronljus, som bildas när elektroner färdas nära ljushastigheten i en lagringsring, kan materialvetenskapliga undersökningar genomföras med hög precision genom den intensiva elektromagnetiska strålning som skapas inom i första hand röntgenspektrumet och det ultravioletta området. Synkrotronljusforskning inleddes under 1970-talet vid anläggningar i Europa, USA och Japan.⁹⁰ Mellan Linköping och Stanford etablerades ett samarbete inom detta område. I samarbetet ingick även det närliggande Xerox Palo Alto Research Center (PARC) som grundats 1970 som centrum för Xerox långsiktiga forskning om bland annat nya material för datalagring och datahantering, och som utvecklades till en ledande materialvetenskaplig miljö på den amerikanska västkusten.⁹¹ Stig Hagström tillbringade under första delen av 1970-talet en längre period som gästforskare vid Stanford och Xerox PARC, mellan vilka det fanns täta kontakter. När diskussioner om en svensk synkrotronljuskälla i anslutning till partikelacceleratorn i Lund senare inleddes var forskare vid Linköping tillsammans med Chalmers och Uppsala universitet

⁸⁸ Robert Sinclair m.fl., *Memorial resolution Stig Hagström (1932–2011)*; Intervju med Anders Flodström.

⁸⁹ Olof Hallonsten, "The Parasites: Synchrotron Radiation at SLAC, 1972–1992", i *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 45, nummer 2 (2015).

⁹⁰ Olof Hallonsten och Thomas Heinze, "Formation and expansion of a new organizational field in experimental science", i *Science and Public Policy*, 42 (2015).

⁹¹ Björn Englund och Paul Forsgren, *Materialteknik: Studiebesök i USA under tiden 1978-09-17 – 78-10-03 rörande materialforskning* (Stockholm, 1978), s. 47.

drivande. Flera yngre spektroskopiskt inriktade forskare från Linköping tillbringade under 1970-talet längre perioder som postdoktorer vid Stanford och Xerox PARC. Anders Flodström, som disputerade vid Linköpings universitet 1975, blev efter hemkomsten från Stanford och Xerox PARC koordinator för synkrotronljusverksamheten vid MAX-lab i Lund som började byggas upp i slutet av 1970-talet.⁹² Flodström ledde verksamheten i Lund fram till 1985 då han blev professor i materialfysik vid KTH i Stockholm. Ett annat resultat av kontakterna med Xerox var rekryteringen av professor William Salaneck från utvecklingslaboratoriet i Rochester, New York, som byggde upp en forskargrupp inom polymera material i Linköping.⁹³

Mer teoretiskt inriktad materialfysisk forskning byggdes samtidigt, med stöd av bland annat naturvetenskapliga forskningsrådet, upp under ledning av Karl-Fredrik Berggren, som kom till Linköpings universitet med en bakgrund från FOA och Uppsala universitet. En tredje materialvetenskaplig forskningsinriktning som utvecklades i Linköping under 1970-talet var tunnfilmstekniken, ett område som låg nära ytvetenskapen. Tunnfilmsteknik är ett samlingsnamn för olika metoder att deponera tunna lager av metall eller halvledarmaterial på ett substrat. Mellan deponerings- och analysmetoderna fanns tekniska kopplingar. I likhet med ytvetenskapliga analysmetoder som LEED bygger tunnfilmsdeponering i stor utsträckning på tillgång till ultrahögvakuum.⁹⁴ Ett beslut fattades 1975 vid Linköping om att bygga upp en forskargrupp inom tunnfilmsteknik. Forskningen betraktades som ett sätt att utveckla ytfysiken i mer tillämpad och industriell riktning, och flera doktorander rekryterades. Möjligheten öppnade sig bland annat genom att Linköpings universitet kunnat ta över tunnfilmsutrustning som köpts in till Göteborgs universitet, bland annat en sputtringsanläggning.⁹⁵ Hagström flyttade 1976 till Stanford för en chefstjänst vid Xerox PARC General Sciences Laboratory, men fortsatte parallellt att utveckla tunnfilmsverksamheten i Linköping.⁹⁶

Inom tunnfilmsområdet inleddes under 1980-talet ett samarbete med University of Illinois at Urbana-Champaign och Northwestern University i Illinois vilket fick stor betydelse för utvecklingen vid Linköpings universitet under 1980-talet och fram tills idag. Det var Jan-Eric Sundgren och Lars Hultman (gästforskare vid de lärosätena), vilka efter varandra byggde en internationellt framstående forskningsmiljö inom materialvetenskapen för tunna filmer av funktionella keramer.⁹⁷

⁹² Om synkrotronljusverksamheten vid MAX-lab i Lund, se: Hallonsten, "Growing Big Science in a Small Country", s. 179–215.

⁹³ Intervju med Anders Flodström.

⁹⁴ Cahn, *The Coming of Materials Science*, s. 410–411.

⁹⁵ Intervju med Jan-Eric Sundgren.

⁹⁶ Robert Sinclair m.fl., *Memorial resolution Stig Hagström (1932–2011)*.

⁹⁷ Intervju med Jan-Eric Sundgren; Uppgifter från Lars Hultman.

Finansieringen av den nya materialvetenskapen: Satsningar inom STU:s ramprogram och det nationella mikroelektronikprogrammet under 1980-talet

Forskningsfinansierande myndigheter i Sverige började mot slutet av 1970-talet tydligare intressera sig för den avancerade materialvetenskapen som forskningsområde, vid sidan om den mer traditionella materialforskningen med rötter i industriell praktik. Frågan tog plats i utredningar och studier. Nya program och satsningar initierades. Industrikrisen och den ekonomiska nedgången under 1970-talet stimulerade sökandet efter framtida utveckling inom de nya teknikområden som var på frammarsch internationellt – bioteknik, elektronik och datateknik och nya material.

I bakgrunden fanns en genomgripande förändring i det svenska systemet för finansiering av teknisk forskning, med bildandet av Styrelsen för teknisk utveckling (STU) 1968 och uppkomsten av en mer aktiv statlig industriell och teknisk forskningspolitik. Bakom bildandet av STU, som var en sammanslagning av flera forskningsfinansierande organ, med tekniska forskningsrådet som det enskilt viktigaste, fanns dessutom ett politiskt intresse av förbättrad samordning av den statliga finansierade industriella och tekniska forskningen. I takt med forskningssystemets utbyggnad hade ett stort antal organ tillkommit, mellan vilka ansvarsfördelningen inte sällan var otydlig.⁹⁸ Inledningsvis, under perioden fram till mitten av 1970-talet, präglades verksamheten och forskningsstödet av en betydande kontinuitet. Arvet efter tidigare organisationer syntes tydligt i myndighetens struktur.⁹⁹ En intensiv diskussion om STU:s roll och plats i det svenska forskningssystemet pågick samtidigt, aktualiserad genom regeringens entledigande av myndighetens andra generaldirektör Bertil Agdur 1975. Dessa diskussioner, som bottnade i flera olika konfliktlinjer, bland annat huruvida organisationens ”sektoriella” eller ”industriella” roll skulle betonas, och om STU skulle företräda en aktiv industripolitik eller verka som en medlare mellan industriella och vetenskapliga intressen, har varit föremål för flera studier och ska inte behandlas närmare här.¹⁰⁰

⁹⁸ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 83–86.

⁹⁹ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 84–85.

¹⁰⁰ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 377 ff; Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 86–87. Se även Pettersson, *Handslaget*.

Intressant i detta sammanhang är istället konsekvenserna för forskningsfinansieringen som följde med den nya organisation som tog form under senare delen av 1970-talet och de nya stödformer som introducerades. Förändringarna utgick mycket från arbetet inom en statlig kommitté som tillsatts 1974 för att utreda verksamheten och organisationen av STU. Den bärande delen i utredningens betänkande, som presenterades 1977, byggde på innovationsforskningens rekommendationer om hur den tekniska forskningsfinansieringen borde inriktas och utformas.¹⁰¹ En grundläggande slutsats var att teknisk forskning och innovation inte följde den ”linjära modellen” utan att det handlade om parallella processer.¹⁰² I förhållande till sina föregångare borde STU inta en mer proaktiv och pådrivande roll i det svenska forskningssystemet. Medan det tekniska forskningsrådet huvudsakligen hade granskat och bedömt kvaliteten hos inkommande projektförslag, borde STU aktivt verka för industriell förnyelse genom att identifiera och stödja forskningsområden med strategisk och långsiktig potential.¹⁰³ Inriktningen kom till uttryck i en omorganisation efter dessa linjer. Forskningsstödet skulle ske inom två program: ett för kunskaps- och kompetensutveckling inom högskolan och universiteten och ett för industriell teknisk utveckling. Till programmen kopplades varsitt konsultativt råd. Inom programområdet kunskapsutveckling blev ramprogrammen den huvudsakliga anslagsformen. Forskningen var huvudsakligen akademiskt inriktad, men skulle vara kopplad mot industriella behov. Flagskepp inom industriell utveckling blev insatsområdena, större satsningar på områden av utvecklingskaraktär och mer omedelbar industriell eller samhällelig betydelse.¹⁰⁴ Inom STU bildades 1984 ett teknikvetenskapligt forskningsråd (STUF), med uppgift att fördela projektmedel till bland annat materialvetenskap och materialteknik baserat på forskningsansökningar och efter inomvetenskapliga kriterier.¹⁰⁵ STUF blev senare grunden till ett fristående teknikvetenskapligt forskningsråd som under 1990-talet betydde mycket för finansieringen av svensk materialvetenskap och materialteknik.

Materialtekniken delades av STU upp i underområdena metalliska material, polymera material, oorganiska material samt metallkorrosion och ytbehandling. I början av 1980-talet satsade STU sammanlagt omkring 70 miljoner kronor årligen på materialteknik. Stödet gick till 19 procent till insatsområden och 32 procent till teknikområden, som båda ingick i programområdet industriell utveckling, och 49 procent till kunskaps- och

¹⁰¹ Ett ifrågasättande av ett linjärt kausalt samband mellan teknisk forskning och industriell innovation skedde bland annat mot bakgrund av de uppmärksammade amerikanska rapporterna Hindsight och TRACES. Se Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 417–420.

¹⁰² Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015. Om den linjära modellen, se dessutom Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 419–420.

¹⁰³ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 91.

¹⁰⁴ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 88.

¹⁰⁵ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 490.

kompetensutveckling för högskolan.¹⁰⁶ Därutöver fanns stöd till massa och pappersforskning och träforskning, som låg vid sidan om materialtekniken. En betydande del av teknikområdesstödet inom materialteknik gick till industriforskningsinstitutens materialforskning. På samma sätt dominerade ramprogrammen under hela 1980-talet programområdet för universitetens och högskolans kunskapsutveckling, med 40 procent av programrådets totala budget.¹⁰⁷ Det var inom ramprogrammen som en stor del av de materialvetenskapliga nysatsningarna skedde. Flera av ramprogrammen var helt eller delvis inriktade mot materialvetenskapliga problemområden och frågeställningar. Ramprogram inrättades omkring 1980 för pulvermetallurgi, polymerbaserade fiberkompositer, trämaterial (utanför materialtekniken) och teknikgrundande syntetisk organisk kemi. Ett ramprogram för snabbstelnin av metaller tillkom 1984.¹⁰⁸

Dessutom inrättades vid sidan om dessa ett par ramprogram som var direkt riktade mot nya avancerade materialvetenskapliga problemområden. Ytors fysik och kemi stöttade forskning inom ytvetenskapen, som genomgått en snabb teknisk utveckling under 1970-talet. Uppföljande ramprogram inom biomaterial och mikronik inrättades senare, under andra halvan av 1980-talet. Dessutom genomfördes en satsning på ny cellulosa-fiberbaserad materialteknologi.¹⁰⁹ Ett ramprogram i mikroelektronik inrättades 1978, med forskning om halvledarmaterial som ett viktigt delområde. Det ledde sedan vidare till flera stora satsningar inom mikroelektronik under 1980-talet, bland annat det nationella mikroelektronikprogrammet (NMP) som genomfördes 1983–88 i samarbete med andra forskningsfinansierade myndigheter. Mikroelektronikprogrammen intog med sin storlek en särställning bland STU:s satsningar under 1980-talet och forskning inriktad mot halvmaterial inom fasta tillståndets fysik ingick som ett centralt inslag. Stödet till mikroelektronikforskningen präglades av en betydande kontinuitet och det nationella mikroelektronikprogrammet följdes av ytterligare satsningar under 1990-talet.

Programmen administrerades av en ny ledning, som tillträdde i samband med omorganisationen i slutet av 1970-talet. Sigvard Tomner, som varit chef för STU:s utvecklingsenhet genom vilken huvuddelen av myndighetens ekonomiska stöd kanaliserades och som dessutom ingått i STU-kommittén, blev ny generaldirektör.¹¹⁰ En nybildad planeringsenhet fick en central roll i organisationen.¹¹¹ Sammanhållande och ansvarig för ramprogrammen blev Göran Friborg, som rekryterades från det

¹⁰⁶ STU, *STU perspektiv 1983*, STU-information 354-1983 (Stockholm, 1983), s. 117–123.

¹⁰⁷ STU, *STU perspektiv 1983*, s. 68.

¹⁰⁸ STU, *STU perspektiv 1983*, Tabell 3:6.

¹⁰⁹ STU, *Cellulosafiberbaserad materialteknologi: Resultat inom ett ramprogram för kunskapsutveckling*, STU-information 548-1986 (Stockholm, 1986).

¹¹⁰ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 417.

¹¹¹ Planeringsavdelningen leddes av Jan Olof Carlsson från finansdepartementet, som även han ingått i STU-kommittén. Carlsson fungerade också som ställföreträdande generaldirektör. Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 417 och 438.

naturvetenskapliga forskningsrådet och som kopplades till planeringsenheten.¹¹² Planeringsavdelningen producerade och sammanfattade STU:s visioner och förslag i STU-perspektiven, som publicerades var tredje år mellan 1979 och 1989.¹¹³

En viktig del i myndighetens arbete var att följa den internationella utvecklingen och ge underlag till forskningspolitiska beslutsprocesser. Under 1978 initierades, mot bakgrund av den internationella lågkonjunkturen och kriserna som drabbade traditionella svenska industrigrenar, en rad studier om svensk industriell konkurrenskraft och hur den kunde stärkas. Regeringen gav STU ett speciellt uppdrag att identifiera områden där Sverige genom forskning och teknisk utveckling kunde flytta fram sina positioner internationellt. Som ett led i detta undersöktes de internationella utvecklingstendenserna genom kontakter mellan STU och forskningsfinansierande myndigheter ibland annat USA och Japan och de ledande europeiska industriländerna.¹¹⁴ Ett av flera områden som lyftes fram i dessa sammanhang inom STU under senare delen av 1970-talet var den avancerade materialvetenskapen och materialtekniken.¹¹⁵

Studier av amerikansk materialforskning

Hösten 1978 reste en delegation från STU till USA för en två veckors rundresa till universitet och industriella forskningscentra med uppgift att studera inriktning och mål hos forskningen inom materialområdet. Resan var inte den enda i sitt slag, men den är intressant eftersom den ger en bild av hur den mest avancerade internationella akademiska och industriella materialforskningen tedde sig ur STU:s synvinkel i slutet av 1970-talet. Studieresan fick dessutom en direkt inverkan på utformningen av ett av de nya ramprogrammen, det om ytors fysik och kemi som inleddes sommaren 1980.¹¹⁶

Programmet utarbetades av Sveriges teknisk-vetenskapliga attachékontor i Washington i samråd med National Materials Advisory Board och inkluderade bland annat studiebesök vid ståltillverkaren Bethlehem Steel i Pennsylvania, kemikoncernen Du Ponts forskningslaboratorium i Wilmington, Delaware, och Ford Motor Company i Dearborn, Michigan. Flyg- och rymdindustrin täcktes in genom besök vid NASA Aimes Research Center i Kalifornien, Lockheed Palo Alto Research Laboratory och Douglas Aircraft Company i Kalifornien. Diskussionerna med industrin handlade till stor del om

¹¹² Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015. Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 428.

¹¹³ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 438.

¹¹⁴ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 438–439.

¹¹⁵ Materialvetenskapliga frågeställningar ingick i flera av de områden som identifierades för möjliga ramprogram. De fyra första ramprogrammen, med start budgetåret 1979/80, var: träkemi, genteknologi, industriella livsmedelsprocesser samt tal, ljud och hörsel. I den grupp om ytterligare tio områden som skulle starta tidigast 1980/81 ingick: förändringsstrategisk materialforskning, ytors fysik och kemi, elektronisk och elektrooptisk komponentteknologi, framtida produktionssystem, programvaruteknik, bild- och symbolbehandling, enzymteknologi, lösningar vid höga tryck och temperaturer, biokemiska processer samt cellulosa-fibrernas morfologi. Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 428.

¹¹⁶ Resan företogs av Björn Englund och Paul Forsgren, som var verksamma vid STU:s enhet för materialteknik. Forsgren var enhetens chef. Englund och Forsgren, *Materialteknik*, s. 2.

kompositmaterial och nya polymera material, som uppmärksammades stort under 1970- och 1980-talen. Kompositmaterialen hade utvecklats ur förstärkta plaster och rötterna fanns i plast- och polymerindustrin. En tyngdpunkt inom polymerforskningen fanns i industriella laboratorier, snarare än i akademiska miljöer. Du Ponts forskningslaboratorium i Wilmington, som besöktes av den svenska delegationen, var ledande och hade bland annat utvecklat Kevlar – en syntetisk aramidfiber som lanserades 1971. Stora förhoppningar knöts till kompositmaterialen, som introducerades som ersättning för stål i bildelar för att spara vikt och reducera energiförbrukning och för att underlätta tillverkning. Denna fråga diskuterades bland annat med Ford Motor, som bedrev ett utvecklingsprogram med stora satsningar på glas- och grafitfiberförstärkt polyester och epoxi. Flygindustrin utnyttjade kompositmaterial med anledning av deras hållfasthet och låga vikt. Diskussioner fördes i denna fråga med NASA, Lockheed och Douglas Aircraft.¹¹⁷

Flera av de ledande amerikanska universiteten och deras materialforskningscentra besöktes, bland annat Center for Materials Science and Engineering (CMSE) vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) – ett av de elva IDL-laboratorier som valts ut av ARPA och som sedan fortlevt med finansiering genom National Science Foundation (NSF). Forskningsledare vid CMSE intervjuades. Materialcentrum vid MIT var organiserat i fem sektioner av vilka två valdes ut för studiebesök: sektionen för pulvermetallurgi och sektionen för keramiska material. Inom pulvermetallurgi (ett område där Sverige hade en stark industri med bland annat Sandvik, Söderfors och Seco Tools samt Höganäs i Skåne och Uddeholm i Hagfors) diskuterades bland annat struktur och egenskaper hos pulvermetallurgiskt framställda aluminiumlegeringar och struktur och mekaniska egenskaper hos snabbkylda amorfa legeringar. Med keramforskarna vid MIT diskuterades bland annat högtemperaturkeramer till gasturbiner och dieselmotorer. Högtemperaturkeramer, bland annat kiselkarbid diskuterades också vid ett besök vid företaget Carborundum i Niagara Falls, New York. Bakgrunden var att Carborundum varit i kontakt med Volvo, SAAB och Försvarets fabriksverk (FFV) om samarbete runt användningen av kiselkarbid i motordelar.¹¹⁸ STU finansierade dessutom med start 1978 uppbyggnaden av en forskningsgrupp vid Silikatforskningsinstitutet i Göteborg med inriktning mot högtemperaturkeramer, framförallt kiselkarbid och kiselnitrid och metoder för trycklös sintring.¹¹⁹

Den del av rundresan som gjorde starkast intryck var emellertid studiebesöket vid Stanford University och närliggande Xerox Palo Alto Research Center (PARC). Besöket skedde vid sidan om det på förhand uppgjorda reseschemat, sannolikt genom en direktkontakt med Stig Hagström som sedan 1976 var chef för dess General Science

¹¹⁷ Englund och Forsgren, *Materialteknik*.

¹¹⁸ Englund och Forsgren, *Materialteknik*.

¹¹⁹ STU, *STU perspektiv 1983*, s. 121.

Laboratory (GSL). GSL var en av tre forskningsavdelningar inom PARC som med 50 anställda bedrev avancerad forskning om material som kunde komma till användning inom informationssystem, med speciell inriktning mot fasta tillståndets fysik och elektronik.¹²⁰ Ett nära samarbete fanns med Stanfords materialvetenskap, som hade utvecklat en inriktning och profilering som svarade mot de industriella behoven i Silicon Valley, med framstående forskning inom bland annat tunnfilmsteknik (för att skapa ledningsmönster på integrerade kretsar) och epitaxiella metoder (för att odla kristaller av halvledarmaterial).¹²¹ Under Hagströms ledning bedrevs forskning om bland annat tunnfilmsprocesser. I Stanford fanns dessutom Birgit Jacobsson som hade disputerat för Hagström vid Linköpings universitet.¹²² Jacobsson var verksam vid Department of Material Science and Engineering där hon sedan hösten 1976 bedrev forskning inom ytbehandlingsteknik med inriktning på icke-kristallina metalliska legeringsskikt. Forskningsvistelsen vid Stanford finansierades genom ett speciellt anslag från STU. En uppgift som Jacobson hade vid universitetet var att trimma in ett nyanskaffat elektronmikroskop, som liksom annan gemensam utrustning tillhörde universitetets Center for Materials Research. Vid besöket diskuterades dessutom andra delar av Stanfords avancerade materialfysik – supraleddande egenskaper hos legeringar av niob, tenn och koppar, minnesmetaller och studier av atomgitter med transmissions-elektronmikroskop.¹²³

Sammantaget kan man konstatera att STU:s amerikanska studieresa hösten 1978 berörde ett brett spektrum av forskningsinriktningar som ganska väl avspeglade prioriteringarna inom det sena 1970-talets avancerade materialvetenskap inom industri och universitet, med undantag för halvledarområdet. Flera av dessa områden, bland annat kompositmaterial, pulvermetallurgi, nya avancerade polymera material och supraleddande material, skulle bli föremål för svenska satsningar och program under 1980-talet. Ytvetenskapen och i synnerhet ytfysiken, den inriktning som representerades av Hagströms och Jacobssons forskning i Stanford, valdes ut för ett nytt svenskt forskningsprogram.

Ytors fysik och kemi

Satsningen på ytfysisk forskning skulle ingå i ett av de nya ramprogram som planerades. Ramprogrammet har studerats av teknikhistorikern Hans Weinberger, som i detalj undersökt och analyserat dess tillkomst och genomförande.¹²⁴ Beslutet om att inrätta ett

¹²⁰ Englund och Forsgren, *Materialteknik*.

¹²¹ Leslie, *The Cold War and American Science*, s. 226–227.

¹²² Intervju med Anders Flodström den 12 november 2015; Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

¹²³ Englund och Forsgren, *Materialteknik*.

¹²⁴ Detta avsnitt bygger till största delen på Weinbergers forskning. Se Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 441–466.

ramprogram med denna inriktning fattades formellt i april 1980, men det hade föregåtts av nästan två års noggranna studier och analyser inom STU.¹²⁵ Det baserade sig på ett grundligt internt utredningsarbete inom STU och kontakter med forskargrupper som kunde bli aktuella för programmet. I valet mellan olika forskningsområden hade ytvetenskapen tidigt framträtt som ett område med tillräcklig industriell potential, förnyelsekaraktär och vetenskaplig bredd för ett ramprogram.¹²⁶ Detta var i linje med internationella forskningstrender – studier av ytors egenskaper, sammansättning och struktur för att finna verktyg att styra och kontrollera beteende och egenskaper hos avancerade material hade utvecklats till en allt viktigare forskningsinriktning under 1970-talet. Birgit Jacobsson, som kommit hem från sin forskningsvistelse vid Stanford i augusti 1979, engagerades i planeringsarbetet. Dessutom bidrog Stig Hagström med en promemoria som utvecklade de industriella aspekterna och kommersiella betydelsen av avancerad materialvetenskaplig forskning.¹²⁷ En planeringsgrupp tillsattes hösten 1979. I den ingick industrirepresentanter för Alfa Laval, Atlas Copco och Jernkontoret, alla med intresse av ytvetenskaplig forskning, samt handläggare från STU. Forskarrepresentanterna kom från Chalmers, universiteten i Linköping och Lund och från Ytkemiska institutet i Stockholm.¹²⁸

Det planerade ramprogrammet skulle ha två tyngdpunkter. Den ena utgjordes av ytkemin och kolloidkemin, ett forskningsområde som hade stark förankring i det svenska universitetssystemet. Det hade dessutom varit föremål för en speciell utredning inom STU, som presenterat sina slutsatser i en utförlig rapport 1978.¹²⁹ Forskningsinriktningen representerades i planeringsgruppen av Kemicentrum vid Lunds universitet, som hade en av landets ledande kolloidkemiska forskargrupper, och Ytkemiska institutet (YKI) i Stockholm som bedrev sin verksamhet i nära anslutning till KTH. Den andra utgjordes av ytfysiken, som blev den forskningsinriktning som kom att dominera ramprogrammet. Inom ytfysiken hade det under 1970-talet vuxit fram ett antal forskningsmiljöer som kunde bli aktuella. En stark gruppering fanns vid Chalmers i Göteborg. Institutionerna för fysik och teoretisk fysik vid Chalmers hade vid utlysningen hösten 1978 skrivit ett gemensamt förslag till ramprogram inom ytfysik.¹³⁰ Utgångspunkten var den praktiska och teoretiska forskning om ytprocesser och ytfenomen som bedrevs i Stig Lundqvists tradition, med flera lovande unga forskare som etablerat egna forskargrupper. En av dessa var Bengt Lundqvist med inriktning mot teoretiska elektronstrukturberäkningar och ytprocesser. En annan tydlig specialisering var katalytiska processer, som studerades i samarbete mellan teoretiskt och praktiskt

¹²⁵ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 442.

¹²⁶ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 441; Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 89.

¹²⁷ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 445.

¹²⁸ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 444–445.

¹²⁹ STU, *Yt- och kolloidvetenskap i Sverige*, STU-information 89-1978 (Stockholm, 1978); Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 441–442.

¹³⁰ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 442.

inriktade forskare.¹³¹ Inom katalysforskningen drev Bengt Kasemo vid Chalmers tillsammans med fordonstillverkaren Volvo forskning inom katalytisk avgasrening med finansiering genom STU.¹³² Kasemo medverkade som Chalmers representant i planeringsgruppen men deltog inledningsvis inte med egna forskningsprojekt.¹³³ En annan tydlig gruppering fanns vid Linköpings universitet, som under 1970-talet snabbt etablerat sig bland de ledande inom svensk materialfysik och ytfysik. Stig Hagström hade vid tiden för ramprogrammets planering 1979 lämnat universitet, men tog fortsatt aktiv del av verksamheten. En yngre generation forskare drev tunnfilmforskningen vidare.¹³⁴ En delvis annan inriktning representerades av Ingemar Lundström, som hade rekryterats till Linköping från Chalmers 1978 och som bedrev forskning i gränslandet mellan fysik, kemi och biologi bland annat om sensorer, med tonvikt på processer på och egenskaper hos ytor.¹³⁵

Med det nya ramprogrammet ville STU enligt Weinberger knyta samman forskningen inom dessa båda områden, det ytfysiska och det ytkemiska, med en gemensam tvärvetenskaplig satsning. Möjligheten öppnade sig rent vetenskapligt genom att kemin och fysiken som discipliner närmade sig varandra på de minskade längdskalor som var aktuella. I en promemoria om programmets inriktning pekade Birgit Jacobsson på just detta faktum och konstaterade att medan ytfysiken utvecklades mot att ”omfatta alltmer komplicerade ’kemiska’ system” gick den traditionella ytkemin i motsatt riktning ”mot en mera mikroskopisk-atomistisk beskrivning” i sina problemställningar och analyser.¹³⁶ En viktig del i bakgrunden var den snabba tekniska utvecklingen inom instrumentering för analys och bearbetning av ytor. Instrumenteringens betydelse och de möjligheter som den öppnade upp för forskningen hade betonats i Chalmers ramprogramsförslag.¹³⁷ Jacobsson konstaterade att den teknologiska utvecklingen, som till stor del drevs av halvledarindustrins behov, i viktiga avseenden till och med låg före den vetenskapliga. Mer specifikt trodde hon att ytvetenskapen under 1980-talet framförallt skulle koncentreras mot tre områden, som alla handlade om att utveckla fältet vidare från de studier av idealiserade ytor under kontrollerade förhållanden som dittills varit dominerande. För det första gällde det att ”överbrygga” det så kallade ”vakuumbrygget”.¹³⁸ Ultrahögvakuumtekniken låg visserligen till stor del bakom det senaste decenniets snabba utveckling inom ytfysiken, men framöver gällde det att

¹³¹ Materialcentrum, *Materialforskning vid Chalmers tekniska högskola: Sammanställning över högskolans forskningsprojekt inom materialvetenskap* (Göteborg, 1982), s. 9–12.

¹³² Intervju med Bengt Kasemo den 6 oktober 2015; Materialcentrum, *Materialforskning vid Chalmers tekniska högskola*, s. 21.

¹³³ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 444.

¹³⁴ Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

¹³⁵ Intervju med Ingemar Lundström den 24 september 2015.

¹³⁶ Birgit Jacobssons promemoria refereras i Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 445–446. Referatet här bygger på Weinbergers diskussion.

¹³⁷ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 442.

¹³⁸ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 445.

utveckla kunskaperna till att dessutom omfatta ytor som var i kontakt med vätskor och luft under normalt atmosfäriskt tryck. För det andra att vidga analyserna till att även gälla icke-metalliska material. Slutligen borde forskningen framöver omfatta också polykristallina material och amorfa ytor.¹³⁹

Planeringsgruppen inledde under sommaren 1980 arbetet med att strukturera programmet och besluta om forskningsinriktning. Samtidigt omstrukturerades programledningen genom att planeringsgruppen ombildades till en styrgrupp, med nya industrirepresentanter som hade tydligare forskningsanknytning. Industrirepresentanterna i den nybildade styrgruppen kom från Sandvik AB, LM Ericsson och Keno Guard. I centrum för programmet stod forskning om ytmodifiering, i huvudsak med tunnfilmsteknik, som blev ett av fyra prioriterade forskningsområden vid sidan om vidhäftning, korrosionsmekanismer och katalys. I september 1980 gick STU ut med en uppmaning till aktuella institutioner att inkomma med ansökningar till programmet. Förslagen skulle diskuteras i programmets styrgrupp, som bland annat skulle hantera avvägningen mellan industriella nyttoaspekter och vetenskaplig kunskapsutveckling, medan det slutliga avgörandet om medelstildelning reserverades för de ansvariga inom STU. Sammanlagt inkom ett trettiotal förslag varav tio valdes ut för finansiering inom ramprogrammet, som hade en total budget om 15 miljoner kronor under perioden 1980 till 1985.¹⁴⁰

Ingående projekt i ramprogrammet Ytors fysik och kemi under perioden 1980–85:

- 1 *Ytmodifiering av metalliska och polymera substrat samt Struktur och egenskaper hos förångade titanskikt*. Deltagare: Ingemar Lundström, Sven-Erik Karlsson, Jan-Eric Sundgren samt Birgit Jacobson, Hans Hentzell, Ulf Helmersson. Institutionen för fysik- och mätteknik, Linköpings universitet.
- 2 *Fast yta i kontakt med biologiska vätskor*. Deltagare: Kåre Larsson. Livsmedelsteknologi, Lunds universitet.
- 3 *Titan och titanföreningar – nya typer av biovänliga ytor*. Ingemar Lundström, Jan-Eric Sundgren och Bo Liedberg. Institutionen för fysik- och mätteknik, Linköpings universitet. Peter Thomsen. Tillämpad bioteknologi, Göteborgs universitet.
- 4 *CVD-processers kinetik*. Deltagare: Jan-Otto Carlsson samt Mats Boman, Eva Fredriksson och Ulf Jansson. Kemiska institutionen, Uppsala universitet.
- 5 *Ytegenskaper hos stål efter betning, kallvalsning och glödning*. Deltagare: Bengt Johansson, Olle Grinder. Institutet för metallforskning (IM), Stockholm. Industrisamarbete med SSAB, SAAB och Volvo AB.

¹³⁹ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 445–446.

¹⁴⁰ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 447–450.

- 6 *Mekanismer för korrosion och katalys*. Deltagare: Stig Andersson, Bengt Lundqvist, Ingemar Olefjord och Nils-Gösta Vannerberg. Chalmers tekniska högskola.
- 7 *Korroderande metallytors elektrokemiska och fysikaliska natur*. Deltagare: Christofer Leygraf och Dominique Thierry. Korrosionsinstitutet (KI), Stockholm.
- 8 a. *Mikroemulsioners struktur*. b. *Adsorption i latex- och pigmentdispersioner*. c. *Fasta ytor: ytmodifiering och partikeladhesion*. Deltagare: Per Stenius, Bengt Kronberg, Carl-Gustav Gölander och Eva Sjöblom, Ytkemiska institutet (YKI), Stockholm.
- 9 *Fasjämvikter i mikroemulsionssystem med speciell hänsyn till rengöring*. Projektledare: Björn Lindman och Bengt Jönsson. Fysikalisk kemi, Lunds universitet.
- 10 *Utbildningsverksamhet*. Projektledare: Birgit Jacobson. Institutionen för fysik och mätteknik, Linköpings universitet.

Ett forskningsområde som gavs betydande utrymme var korrosion, som blev föremål för två projekt inom programmet. Vid sidan om det förslag till ytfysikprogram som de två fysikinstitutionerna vid Chalmers utarbetade hösten 1978 inkom dessutom institutionerna för oorganisk kemi och metalliska konstruktionsmaterial med ett eget förslag avseenden korrosionsskydd och korrosionsegenskaper hos höglegerat stål. Efter diskussioner med STU beslutade Chalmers internt att foga samman förslagen till ett gemensamt tvärvetenskapligt projekt om mekanismer för korrosion och katalys med deltagare från teoretiska och experimentella fysiker, kemister och materialforskare.¹⁴¹ Korrosion var ett klassiskt materialforskningsområde, med tydliga kopplingar till industriella problem, och genom sammankopplingen med fysisk forskning om katalytiska processer hoppades STU kunna lyfta området och åstadkomma såväl vetenskapligt intressanta resultat som industriell relevans. En liknande förnyelse i riktning mot en mer fysikalisk förståelse av korrosionsprocesser pågick redan vid Korrosionsinstitutet (KI) i Stockholm, som bildats 1965 men som tidigare mest bedrivit enklare industrinära utredningar och försök. Forskningsledaren Christofer Leygraf, som återkom efter en tid vid Berkeley ungefär samtidigt som ramprogrammet startade, fick anslag för ett andra projekt som skulle utveckla institutets forskning mot en mer molekylär förståelse av korrosionsprocesser.¹⁴²

Tunnfilmsteknik var ett annat område som gavs stort utrymme i programmet. Det var en viktig forskningsinriktning vid Linköpings universitet, där Jan-Eric Sundgren och Hans Hentzell (då Nilsson) hade vidareutvecklat den verksamhet som startats upp under Stig

¹⁴¹ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 444; STU, *Ytors fysik och kemi: Resultatsammanställning från forskning inom STUs ramprogram 1980–85*, STU-information 621-1987 (Stockholm, 1987), 37–50.

¹⁴² Intervju med Christofer Leygraf den 13 oktober 2015; STU, *Ytors fysik och kemi*, s. 51–57.

Hagström i mitten av 1970-talet. Ett tillämpningsområde som Sundgren hade utvecklat var hårda ytbeläggningar på verktyg, men tekniken var generisk och skar genom flera forskargrupper i Linköping. Ett samarbete fanns mellan Sundgren och Ingemar Lundströms forskargrupp.¹⁴³ Inom programledningen hade Birgit Jacobsson goda kunskaper inom tunnfilmsområdet sedan sin tid vid Linköpings universitet och genom kontakter med den amerikanska forskningen. Metoder att skapa hårda och slitstarka ytskikt på verktyg av hårdmetall och stål var dessutom ett område av stor industriell betydelse för Sandvik, som satt med i programmets styrgrupp, och som under 1970-talet med kommersiell framgång hade börjat skiktbelägga verktyg av hårdmetall med titannitrid.¹⁴⁴ Lennart Rohlin, som var Sandviks representant i styrgruppen, hade argumenterat för att beläggningsmetoder för hårdmetall som byggde på CVD - och PVD-teknik borde lyftas upp som ett av programmets fokusområden. Förslaget gick inte igenom och formuleringarna om ramprogrammets prioriterade områden lämnades mer öppna.¹⁴⁵ Till programmet kopplades dock Jan-Otto Carlssons forskargrupp vid kemiska institutionen på Uppsala universitet, som var specialiserad på CVD-processer och som sedan tidigare hade ett nära industriellt samarbete med Sandvik inom detta område.¹⁴⁶ Inom det ytkemiska området tilldelades Ytkemiska institutet i Stockholm och Kemicentrum vid Lunds universitet egna anslag.¹⁴⁷

Flera internationella utvärderingar gjordes under programmets gång. En första utvärdering genomfördes hösten 1981 av en expertgrupp med deltagare från brittiska och amerikanska industriforskningslaboratorier och forskningsfinansierande myndigheter som National Science Foundation (NSF).¹⁴⁸ Inriktningen i utvärderingen var mot den tunnfilmstekniska forskningen och föranledde inga förändringar i själva programmets struktur, men innehöll samtidigt rekommendationer om det fortsatta arbetet. En rekommendation var ett närmare samarbete mellan Jan-Otto Carlssons grupp vid Uppsala universitet, som var inriktad mot utveckling av tunnfilmsprocesser, och gruppen vid Linköpings universitet med specialisering mot PVD-syntes och analys och karakterisering av ytor och strukturen samt egenskaper hos tunna filmer.¹⁴⁹ Sommaren 1983 utgjorde en formell brytpunkt halvvägs in i det femåriga programmet. Inför den genfördes hösten 1982 en andra internationell utvärdering av samma expertgrupp. Resultatet blev förlängd finansiering under en andra period för samtliga program, med

¹⁴³ Intervju med Jan-Eric Sundgren; Intervju med Ingemar Lundström.

¹⁴⁴ Intervju med Bertil Aronsson; Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 448.

¹⁴⁵ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 448.

¹⁴⁶ Intervju med Jan-Otto Carlsson och Sören Berg.

¹⁴⁷ STU, *Ytors fysik och kemi*.

¹⁴⁸ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 454.

¹⁴⁹ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 463–464.

undantag för ett projekt om ytegenskaper hos stål vid betning och kallvalsning som drevs av Institutet för metallforskning (IM) i Stockholm.¹⁵⁰

Uppföljande satsningar på biomaterial och mikronik

Enligt Weinberger var ett omedelbart resultat av programmet de uppföljande satsningar det gav upphov till inom närliggande områden, bland annat biokompatibla material.¹⁵¹ Ett samarbete inom det området hade redan 1981 initierats mellan forskargrupper vid Linköpings universitet, Lunds universitet och Göteborgs universitet inom ramen för ytors fysik och kemi med den specifika målsättningen att utveckla nya sorters ytor för användning i medicinska implantat. Forskningen fick goda vitsord vid den andra internationella utvärderingen hösten 1982 och området bedömdes av STU vara av sådant intresse för svensk industri och forskning att det blev föremål för ett eget ramprogram, som skulle skapa kunskap om mekanismerna för samverkan mellan vävnad och material med startpunkt 1987.¹⁵²

En direkt uppföljare blev dessutom ett nytt ramprogram om ”mikronik” som inleddes sommaren 1987. Mikronik var ett nytt begrepp som myntats under 1980-talet. STU använde det som en samlande beteckning för teknologier som möjliggjorde ”framställning av komponenter och system vars funktioner bygger på en kombination av ytterst små geometriskt bestämda strukturer med varierande biologiska, kemiska och fysikaliska egenskaper.” Inom det rymdes med andra ord stora delar av den forskning om ytmodifiering och tunnfilmsteknik som bedrivits in ramen för ytors fysik och kemi, men begreppet mikronik var bredare och innefattade dessutom forskning inom elektronik och mikromekanik.¹⁵³ STU konstaterade att nya avancerade material under 1980-talet alltmer hade blivit ett centralt kunskapsområde inom flera industrigrenar. Det handlade om verkstadsindustri, elektronikindustri och biomedicinsk industri samt om energisektorn i bred mening. Materialen var avancerade i betydelsen skräddarsydda för specifika användningsområden. Ett behov fanns därmed att kunna kontrollera materialen ner på den atomära och molekylära nivån. STU förutsåg att nya material skulle behöva utvecklas med en mångfald egenskaper – mekaniska, termiska, kemiska, katalytiska, icke-korrosiva, medicinska, elektriska, optiska och magnetiska – på en allt högre precisionsnivå.¹⁵⁴

Ur vetenskaplig synvinkel gav detta två tvärvetenskapliga områden kopplade till material och ytegenskaperna hos material en nyckelkaraktär. Det första området var forskning om ytfenomen och processer på ytor, vilket innebar skeenden i de yttersta

¹⁵⁰ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 464–465.

¹⁵¹ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457.

¹⁵² Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457–460.

¹⁵³ STU, *Mikronik: Projektkatalog för ett tvärvetenskapligt forskningsprogram inom kemi, fysik och biovetenskaperna: Etapp 1*, STU-information 766-1990 (Stockholm, 1990), s. 1.

¹⁵⁴ STU, *Mikronik*.

atoms-skikten hos gränssytor. Detta var frågor som behandlats inom ytors fysik och kemi. Forskningen inom det nyligen avslutade ramprogrammet hade dels syftat till att vinna kunskap dels om hur ytor egentligen ser ut, dels om mekanismerna bakom processer vid ytorna. Det andra tvärvetenskapliga området – som skulle bli föremål för forskning inom det nystartade ramprogrammet i mikronik – handlade om hur man skulle kunna bygga ”specificerade strukturer från den atomära eller molekylära nivån” och i förlängningen skräddarsydda material med vissa bestämda egenskaper.¹⁵⁵

Att kunna konstruera skräddarsydda material underifrån med utgångspunkt i en teoretisk förståelse av de lagar som styrde atomstrukturen var ingen ny tanke, men praktiska och teoretiska begränsningar hade gjort den omöjlig att realisera. STU menade dock att detta ändrats genom den snabba vetenskapliga utvecklingen som skett under 1980-talet, och som till stor del baserades på att nya avancerade vetenskapliga instrument blivit tillgängliga:

Dessa vetenskapliga angreppssätt är i dag realistiska på ett sätt som aldrig tidigare genom den revolution som fysiken och kemin genomgått under senare tid bland annat genom den snabba utvecklingen inom vetenskapsinstrumentområdet. Det är idag och framledes möjligt att förstå skeenden och strukturer på den atomära/molekylära nivån så att helt nya perspektiv vad gäller skräddarsydd material-/strukturkonstruktion kan skönjas, och det blir också möjligt att industriellt göra sådan med modern produktionsteknik.¹⁵⁶

På samma sätt som argumentationen för ramprogrammet ytors fysik och kemi omkring 1980 byggde på 1970-talets snabba teknikutveckling inom bland annat vakuumområdet, utgick STU från den fortsatta instrumentutvecklingen under 1980-talet i den analys som motiverade ramprogrammet mikronik. Framförallt handlade det om utvecklingen och den kommersiella introduktionen av sveptunnelmikroskopet (STM) och atomkraftmikroskopet (AFM), som byggde på samma principer. Instrumenten gjorde det möjligt att visualisera och manipulera enskilda atomer i material och på ytor. Introduktionen och kunskapen om de underliggande principerna stimulerade en intensiv forskning om strukturer på submikronskalan under senare delen av 1980-talet. Upphovsmännen Gerd Binnig och Heinrich Rohrer från IBM i Zürich tilldelades Nobelpriset i fysik 1986 för sin forskning inom området.¹⁵⁷ En stor del av projekten inom mikronikprogrammet kom mot denna bakgrund att handla om nyttjande eller vidareutveckling av sveptunnelmikroskopin i olika vetenskapliga sammanhang.¹⁵⁸ Det kanske tydligaste exemplet är Ragnar Erlandsson och Per Mårtensson vid Linköpings

¹⁵⁵ STU, *Mikronik*.

¹⁵⁶ STU, *Mikronik*.

¹⁵⁷ Cyrus Mody, *Instrumental community: Probe microscopy and the path to nanotechnology* (Cambridge, Mass.; MIT Press, 2011).

¹⁵⁸ STU, *Mikronik*.

universitet, som konstruerade och byggde ett atomkraftmikroskop. Motsvarande framsteg hade skett inom den teoretiska materialfysiken som kunde användas för att analysera och modellera allt mer komplicerade materialsystem med utgångspunkt i deras elektronstruktur.¹⁵⁹

Ingående projekt i ramprogrammet Mikronik under perioden 1987–90:

- 1 *Mikroselektiv adsorption av biomolekyler: mekanismer, produktion och analys.* Projektledare: Jan-Otto Carlsson, Bo Sundqvist. Uppsala universitet.
- 2 *Teoretiska och experimentella studier av mikronikstrukturer.* Projektledare: Arne Rosén. Fysik, Chalmers tekniska högskola.
- 3 *Tillverkning av nanometerstrukturer.* Projektledare: Tord Claeson, Bengt Kasemo, Christina Ullenius. Fysik och organisk kemi, Chalmers tekniska högskola.
- 4 *Mikronik med småpartikelteori.* Projektledare: Jan-Erik Otterstedt. Kemi, Chalmers tekniska högskola.
- 5 *Organisk tunnfilmsfysik.* Projektledare: Hans Arwin, Ingemar Lundström. Fysik och mätteknik, Linköpings universitet.
- 6 *Laserspektroskopiska studier av Langmuir-Blodgett filmer, speciellt Scheibe-Kuhn aggregat och Photon-funneleffekten.* Projektledare: Sten-Eric Lindquist. Fysikalisk kemi, Uppsala universitet.
- 7 *Framställning och analys av submikronstrukturer med inriktning mot katalys och biomaterial.* Projektledare: Bengt Kasemo. Fysik, Chalmers tekniska högskola.
- 8 *Enzymlika polymerer i selektiv organisk syntes.* Projektledare: Styrbjörn Byström. Organisk kemi, KTH.
- 9 *Strukturerade polymerer genom polymerisation i flytande kristallina faser och mikroemulsioner.* Projektledare: Björn Lindman. Fysikalisk kemi, Lunds universitet.
- 10 *Molekylära avtryck – deras karakterisering och användning inom separationsområdet samt som sensorer.* Projektledare: Klaus Mosbach. Tillämpad biokemi, Lunds universitet.
- 11 *Molekylära omkopplare.* Projektledare: Olof Wennerström. Organisk kemi, Chalmers tekniska högskola och Umeå universitet.
- 12 *Nanometerstora strukturer för fysik, elektronik och för växelverkan med molekyler och biologiska material.* Projektledare: Lars Samuelson. Fysik, Lunds universitet.
- 13 *Undulatorljuskälla och röntgenoptik: submicron photoelectron microscopy at the MAX laboratory.* Projektledare: Anders Flodström. Materialfysik, KTH.

¹⁵⁹ Intervju med Börje Johansson.

- 14 *Elektrodstrukturer för mikroelektronik och för molekylär elektronik*. Projektledare: Olle Inganäs. Fysik och mätteknik, Linköpings universitet.
- 15 *Studier av elektronöverföring mellan immobiliserade proteiner och ledande respektive halvledande material*. Projektledare: Sten-Eric Lindquist. Fysikalisk kemi, Uppsala universitet.
- 16 *Mikronik vid YKI*. Projektledare: Thomas Ahlnäs. Ytkemiska institutet.
- 17 *Differentiell geometri – strukturer och egenskaper hos ämnen*. Projektledare: Zoltan Blum. Oorganisk kemi, Lunds universitet.
- 18 *Multisensorchip och kemometriutveckling*. Projektledare: Svante Wold och Ingemar Lundström. Kemi, Umeå universitet och fysik och mätteknik, Linköpings universitet.
- 19 *Fabrikation av nanometerstrukturer samt undersökning av deras egenskaper*. Projektledare: Tord Claeson. Fysik, Chalmers tekniska högskola.
- 20 *Atomic force microscopy (AFM)*. Projektledare: Ragnar Erlandsson. Fysik och mätteknik, Linköpings universitet.
- 21 *Kromatografi och elektrofores i tunna skikt och filmer*. Projektledare: Johan Roeraade. Kemi, KTH.
- 22 *Polymerer för elektrooptisk informationslagring*. Projektledare: Per Flodin. Polymerteknologi, Chalmers tekniska högskola.

Det nya ramprogrammet mikronik etablerades och igångsattes under juli 1987. I programkommittén ingick Jan-Otto Carlsson från Uppsala universitet, Ingemar Lundström från Linköpings universitet och Bengt Kasemo från Chalmers i Göteborg, som alla varit tongivande i ytors fysik och kemi. Kontinuiteten mellan programmen märks också i urvalet av projekt, där flera forskargrupper medverkade i båda programmen. Samtidigt ingick flera forskargrupper som senare skulle komma att ingå i materialkonsortieprogrammet, som startade tre år senare.

Ett annat ramprogram, som löpte mellan 1980 och 1985, var cellulosafiberbaserad materialteknologi. Bakgrunden till STU:s satsning var att den svenska massa- och pappersindustrin kommit allt närmare sitt råvarutak, gränsen för vad den svenska skogen kunde producera. Fortsatt industriell utveckling skulle inte kunna ske genom en utbyggd massatillverkning. En ökad förädlingsgrad av massa till papper och användning av skogsråvara till andra produkter än papper blev centrala för branschens utveckling. Syftet med ramprogrammet, som var inriktat mot det senare, var att stödja kunskapsutveckling inom högskolan med en bredare målsättning än den normala massa- och pappersforskningen. Forskningsprogrammet, som hade en sammanlagd budget på 15 miljoner kronor, skulle knyta samman befintligt kunnande inom trækemi och fiberkemi

med mer materialfysikaliskt inriktad forskning inom polymerkemi, polymerteknologi och materialfysik.¹⁶⁰

Medverkade gjorde dels forskargrupper från de tekniska högskolorna i Stockholm och Göteborg, dels industriforskningsinstitut med verksamhet inom området. Institutionerna för polymerteknologi vid KTH och Chalmers medverkade med separata delprojekt. Bengt Rånby deltog med ett projekt som undersökte modifiering av cellulosa-fibrer och som var en fortsättning av tidigare STU-stödda projekt inom området. Från Chalmers deltog även en grupp vid institutionen för polymera material under ledning av Josef Kubát med ett projekt om termoplastbaserade kompositer innehållande cellulosa och lignin. Ytkemiska institutet bedrev ett projekt om ytkaraktärisering av cellulosa. Industriforskningsinstitutet STFI undersökte cellulosa-mikrokristaller och mikrofibriller som komponenter i plast och papper, medan textilforskningsinstitutet studerade cellulosa-fiberbaserade textila kompositer.¹⁶¹

Mikroelektronikprogrammet

Ramprogrammet ytors fysik och kemi och de uppföljande satsningarna biomaterial och mikronik har varit betydelsefulla för den avancerade materialvetenskapen i Sverige. De fick stor inverkan på senare forskningssatsningar och har här lyfts fram av den anledningen. I sin samtid stod programmen dock helt i skuggan av de massiva statliga forskningssatsningarna på mikroelektronik. Det var inom detta område som huvuddelen av de tillgängliga projektmedlen koncentrerades under en stor del av 1980-talet. Mikroelektroniken var liksom materialvetenskapen ett av de nya ”strategiska” forskningsområden som uppmärksammades internationellt i den forskningspolitiska debatten. I båda fallen handlade det om generiska tekniker med breda tillämpningsområden och med potential att ligga till grund för industriell förnyelse inom viktiga sektorer.¹⁶²

Mikroelektroniken blev i ett svenskt sammanhang föremål för en sammanhållen och omfattande forskningsinsats tidigare än materialvetenskapen. Samtidigt fanns överlappningar och uppdelningen mellan forskningsområdena var delvis en följd av skilda budgetar hos de finansierande myndigheterna. I realiteten avsåg en stor del av de svenska mikroelektroniksatsningarna materialvetenskaplig forskning om halvledare och optiska material. Startpunkten var ett ramprogram som inrättades av STU 1978 och som följdes av en breddad forskning inom det Nationella mikroelektronikprogrammet (NMP) som etablerades 1984, med industriprojekt som ett nytt inslag. I programmen ingick forskning om halvledarmaterial som en av byggstenarna. Programmen kom att få stor betydelse för den svenska materialvetenskapens struktur genom de stora belopp

¹⁶⁰ STU, *Cellulosa-fiberbaserad materialteknologi*.

¹⁶¹ STU, *Cellulosa-fiberbaserad materialteknologi*.

¹⁶² Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 210.

som investerades och den infrastruktur som byggdes upp vid svenska forskningsinstitutioner.¹⁶³

Mikroelektronikssatsningarna inleddes med ramprogrammet elektronisk och elektro-optisk komponentteknologi, som både var ett av de första ramprogrammen som sjuöattes av STU och samtidigt ett av de största. Finansieringen uppgick under det första budgetåret 1978/79 till mellan fem och sex miljoner kronor, men hade successivt utökats för att under 1983/84 (inklusive närliggande områden) uppgå till 40 miljoner kronor.¹⁶⁴ Inriktningen hos programmet var forskning och kunskapsutveckling inom elektronisk och optisk material-, komponent- och kretsteknologi. Programmets tillkomst ska ses mot bakgrund av samtal och kontakter mellan industriföreträdare, universitetsforskare och personal vid STU. Inom forskningen har STU, som det utvecklades i slutet av 1970-talet, beskrivits som en mötesplats och en arena för förhandlingar mellan olika nätverk med bas i industri och universitet med den statliga forskningsfinansieringen som gemensamt intresse. Utifrån detta perspektiv kan beslutet om ett ramprogram inom mikroelektronik ses som en förhandlingsframgång för ett mikroelektroniskt nätverk av universitetsforskare med uppbackning av industrin och med handläggare vid STU som förespråkare internt inom organisationen.¹⁶⁵

En stor del av medlen gick till instrumentering och uppbyggnad av forskningslaboratorier vid universitetsinstitutioner. Målet var dels att svenska universitet skulle bygga upp infrastruktur och skaffa sig kompetens som möjliggjorde arbete med industri-relevanta problem, dels att forskare och ingenjörer med avancerad utbildning skulle slussas ut till industrin. Medverkande industri bestod av svenska halvledartillverkare. Inom landet tillverkade ASEA Hafo AB och Rifa kundanpassade integrerade kretsar och vissa elektrooptiska komponenter. ASEA AB tillverkade kraftelektronik för effektstyrning. Dessutom fanns ett antal mindre industriföretag som tillverkade mikrovågskomponenter samt optiska och kemiska sensorer.¹⁶⁶ En betydande andel av programmet gick till satsningar på forskning och utveckling vid Institutet för mikrovågsteknik (IM) i Stockholm, som sedan 1960-talet bedrev verksamhet inom elektronisk komponentteknologi i samarbete med KTH. Institutet flyttade 1988 till det nybyggda Electrumhuset vid KTH i Kista och ombildades till Institutet för mikroelektronik. I samarbete med institutet byggdes pilotanläggningar för tillverkning av galliumarsenid-transistorer samt laserdioder och detektordioder upp vid Rifa i början av 1980-talet. En annan del av programmet gick till fiberoptisk teknologi och tillverkning av optisk fiber vid Sieverts Kabelverk i Sundbyberg, som drev kabelverksamheten inom LM Ericsson-

¹⁶³ STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet: En presentation*, STU-information 494-1985 (Stockholm, 1985).

¹⁶⁴ STU, *Nationellt Mikroelektronikprogram*, STU-information 376-1983 (Stockholm, 1983), s. 19.

¹⁶⁵ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 468–469.

¹⁶⁶ Företagen var IMA AB, SiTek Lab AB och Sensistor AB.

koncernen. LM Ericsson samarbetade dessutom med mikroavåsinstitutet runt design av integrerade kretsar (LSI).¹⁶⁷

Sammanlagt löpte ramprogrammet under två treåriga anslagsperioder fram till 1985.¹⁶⁸ Tillkomsten av det nationella mikroelektronikprogrammet, som beslutades av riksdagen i december 1983, kan ses som en fortsättning och en breddning av det tidigare ramprogrammet samtidigt som finansieringen utökades. Mellan 1983/84 och 1987/88 uppgick den statliga finansieringen till sammanlagt 550 miljoner kronor. Industrin, som kopplades in på ett tydligare sätt, bidrog med ytterligare 150 miljoner kronor.¹⁶⁹ Att staten beslutade om en mikroelektronisk satsning i denna skala handlade till stor del om en intressegemenskap mellan STU och FMV.¹⁷⁰ En kombination av industripolitiska och försvarsindustriella skäl talade för att en svensk industriell tillverkningskapacitet inom elektronikområdet borde skapas. Elektronikindustrin, framförallt inom telekommunikationsområdet och försvarsområdet, hade visserligen expanderat kraftigt och utgjorde en allt viktigare del av det svenska näringslivet. Endast en mindre del av behovet av elektroniska komponenter kunde dock tillgodoses genom inhemsk produktion. Importbehovet skulle dessutom öka drastiskt de kommande åren.¹⁷¹ Internationellt pågick samtidigt en industriell och forskningsmässig maktkamp inom området.¹⁷² USA och Japan ledde utvecklingen internationellt. Industrin i dessa länder var stora tillverkare av standardkretsar och dominerade utvecklingen internationellt. Inom området kundanpassade specialkretsar, med hög komplexitet och snabbhet, fanns emellertid en möjlig nisch för svensk industri. Försvarsindustriellt var det i hög grad denna sorts kretsar som behövdes i militära projekt, inom stridsflygplansutvecklingen och på radarområdet. Industriellt var specialkretsar ett område där svensk industri skulle kunna utveckla och stärka sin position internationellt.¹⁷³

Mikroelektronikprogrammet bestod av fyra delområden.¹⁷⁴ Materialvetenskapliga problem, som handlade om framställning och karaktärisering av halvledarmaterial och tillverkningsmetoder, ingick som ett centralt inslag i två av dessa. Delområdet grundforskning (NMP2) bedrevs i regi av naturvetenskapliga forskningsrådet och syftade till att bygga upp de svenska universitetens forskning om halvledarmaterial. Forskning om halvledarmaterial bedrevs i internationell jämförelse i relativt begränsad omfattning vid svenska universitet, men det fanns styrkeområden. Delområdets

¹⁶⁷ STU, *Nationellt Mikroelektronikprogram*, s. 19–20.

¹⁶⁸ STU, *Nationellt Mikroelektronikprogram*, s. 19–20.

¹⁶⁹ STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*.

¹⁷⁰ Persson, *Motskräviga myndigheter*, s. 210.

¹⁷¹ Importen av elektronikkomponenter till Sverige uppgick till 40 miljoner kronor 1970. Siffran hade ökat till 600 miljoner kronor 1980 och skulle, enligt prognoser i mitten av 1980-talet, uppgå till 4 miljarder år 1990.

¹⁷² STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 3.

¹⁷³ STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 3.

¹⁷⁴ Delområdena var Utbildning (NMP1), Grundforskning (NMP2), Målinriktad forskning (NMP3) och Industriell utveckling (NMP4).

inriktning var mot tre av dessa styrkeområden: framställning av halvledarmaterial, karaktärisering av halvledarmaterial samt studier av ytor, mellanytor och tunna skikt. Under den första fyraårsperioden av NMP2 fanns sammanlagt 40 miljoner kronor avsatta. Merparten av medlen under den inledande perioden gick till uppbyggnaden av vetenskaplig utrustning vid framförallt tre universitet med stark forskning på området: Lunds universitet, Linköpings universitet och Chalmers universitet.¹⁷⁵ Ett gemensamt drag mellan forskargrupperna var goda kontakter till ledande industriella forskningscentrum internationellt. Dessutom fanns tydliga personband mellan institutionerna. Linköpings universitet, som etablerats under 1970-talet, hade byggts upp till stor del med forskare från Lunds universitet och Chalmers. Hermann Grimmeiss, som etablerat verksamhet inom fasta tillståndets fysik i Lund, hade en bakgrund vid Philips forskningslaboratorier. Forskningen inom halvledarfysik vid Linköpings universitet leddes i sin tur av Bo Monemar, med en bakgrund vid Lunds universitet och vistelser vid internationellt ledande laboratorier bakom sig, bland annat IBM:s forskningscentrum i Yorktown Heights i USA där även Hans Hentzell varit gästforskare.¹⁷⁶

Inriktningen hos institutionerna skiljde sig något. Forskningen inom halvledarfysik vid Lunds universitet var koncentrerad till Berzeliuslaboratoriet som invigts 1984. En viktig metod, som stora investeringar gjorts inom, var Metal Organic Vapour Phase Deposition (MOVPE). Forskningen inom MOVPE, som leddes av Lars Samuelson, var inriktad mot framställning av snabba transistorer av bland annat galliumarsenid och aluminiumgalliumarsenid.¹⁷⁷ Ett annat område var integrerad optik av intresse för switchar i optiska kommunikationssystem.¹⁷⁸ Investeringar gjordes också vid svenska universitet i MBE-system (Molecular Beam Epitaxy) för framställning av halvledarmaterial. MBE hade sitt ursprung inom Bell Laboratories och industrin i USA och fick under 1970-talet internationell spridning till bland annat japanska halvledartillverkare. Linköpings universitet investerade 1984 i Skandinavien första utrustning för kisel-MBE. Chalmers hade MBE-utrustning för tillverkning av halvledare i gallium-arsenid och andra material.¹⁷⁹ Systemen var dyrbara i anskaffning och kostsamma i drift och Linköpings och Chalmers MBE-system var under 1980-talet de enda som fanns inom landet. Ledande polymerer och elektroniska sensorer var andra forskningsområden vid Linköpings universitet som förestods av Ingemar Lundström och William Salaneck.¹⁸⁰

¹⁷⁵ STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 5–7.

¹⁷⁶ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015; Uppgifter från Lars Hultman.

¹⁷⁷ Lars Samuelson skrev sin doktorsavhandling för Bo Monemar. Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

¹⁷⁸ STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 7.

¹⁷⁹ Forskningsprojekt inom det området leddes av Torwald Andersson och Per-Olof Nilsson. *Materials Research at Chalmers University of Technology: Research Projects in Progress* (Göteborg, 1984), s. 29–30.

¹⁸⁰ Forskningen om ledande polymerer hade delvis sin bakgrund i kontakter med forskningsverksamhet vid IBM. Ingemar Lundström forskarutbildades i halvledarfysik vid Chalmers i Göteborg. Intervju med Ingemar Lundström den 24 september 2015; STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 6.

Materialvetenskapliga problem ingick dessutom som ett viktigt inslag i delområdet målinriktad forskning (NMP3). STU ansvarade för delområdet som i allt väsentligt utgjorde en fortsättning och påbyggnad av ramprogrammet för elektronisk och elektrooptisk komponentteknologi som startat redan 1978. Delområdet var det största inom nationella mikroelektronikprogrammet, med en finansiering på mellan 50 och 60 miljoner kronor per år. Medlen gick huvudsakligen till forskning i anslutning till universitets- och högskoleinstitutioner. Det handlade till stor del om samma forskargrupper som ingick i mikroelektronikprogrammets grundforskningsområde. Den enskilt största mottagaren av forskningsmedel var den avancerade komponentutvecklingen vid Institutet för mikrovågsteknik (IM) i Stockholm som bedrev sin verksamhet i nära samarbete med KTH.¹⁸¹ Annars låg tyngdpunkten i programmet vid universitetet i Uppsala, Lund och Linköping samt vid Chalmers i Göteborg. Medan forskning om komponentutveckling stod i centrum i Stockholm, bedrevs den mer materialinriktade forskningen inom programmet vid andra universitetsinstitutioner. I forskningen om nya elektroniska material var tonvikten avancerade framställningsmetoder, framförallt MOVPE- och MBE-processer, som motsvarade inriktningen hos forskargrupperna i Lund samt vid Linköping och Chalmers. Forskningen innefattade komponenter i materialen galliumarsenid och indiumfosfid, med målet att utveckla elektronik för optisk kommunikation och höga frekvenser. Kraftelektronik var ett annat delområde, som senare fick en tydlig inriktning mot forskning om kiselkarbid. Även här var tonvikten komponentutveckling i Stockholm, medan materialforskningen bedrevs vid bland annat Linköpings universitet. Denna forskning har kommit att utvecklas betydligt. En tongivande forskare har varit Erik Janzén som först var anställd vid ABB och senare adjungerades till Linköpings universitet.¹⁸² Forskningen och utvecklingen av högt integrerade kretsar (VLSI) var till stor del inriktad mot mikrofabrikationsmetoder – litografi, tunnfilmstekniker och metoder för ytbeläggning, jonimplantering och plasmaetsning.¹⁸³

Mikroelektronikprogrammet bedrevs i sin ursprungliga form fram till 1989. Ingen direkt fortsättning beslutades med samma breda inriktning, men programmet fick flera mer riktade uppföljare inom de olika forskningsområdena. Satsningar fortsatte under 1990-talet till stor del enligt de linjer som etablerats under programmets gång. I ett tekniskt avseende och vad gäller uppbyggnaden av forskningens infrastruktur hade mikroelektronikprogrammet en formativ verkan också på den svenska materialveten-

¹⁸¹ Sammanlagt omkring 40 procent av delområdets finansiering gick till forskning om avancerad komponentteknologi vid IM i Stockholm.

¹⁸² Uppgifter från Lars Hultman.

¹⁸³ De fem viktigaste delområdena inom NMP 3 var: VLSI-teknologier, Nya material, Kraftkomponenter, Elektronisk och optisk sensorteknologi samt CAD-VLSI. Dessutom bedrevs ytterligare projekt vid sidan om de fem huvudinriktningarna. Fysiska institutionen vid Chalmers bedrev forskning om vätskekristaller med korta responstider. Andra projekt behandlade icke-linjär optik och höghastighetskommunikation med laser genom optisk fiber. STU, *Nationella mikroelektronikprogrammet*, s. 8.

skapen. De stora resurser som satsades på utrustning för mikrofabrikation, tunnfilmframställning och karakterisering betydde mycket för universitetens specialisering. Programmet angav därför riktningen för den fortsatta utvecklingen under 1990-talet inom dessa forskningsområden, bland annat det som skulle bli nanovetenskap och nanoteknologi.

Materialkonsortierna:

Svensk materialvetenskap samlas under 1990-talet

I detta kapitel undersöks materialkonsortieprogrammet, som löpte mellan 1990 och 2000, närmare. Kapitlet inleds med en diskussion om programmets tillkomst och planering där de vetenskapliga utgångspunkterna diskuteras tillsammans med programmets ekonomiska ramar. Stort utrymme kommer i separata avsnitt att ägnas innehållet och forskningsverksamheten inom programmet. Samtidigt som programmet löpte genomgick den svenska forskningspolitiken under 1990-talet betydande förändringar. Dessa förändringar och dess konsekvenser för programmets finansiering kommer att behandlas i följande kapitel.

Diskussioner om materialtekniska forskningssatsningar fördes inom STU under hela 1980-talet. I analyser och prognoser lyfte STU upp materialvetenskapen och materialtekniken som ett av fem prioriterade områden där myndigheten menade att insatser borde göras för att förbättra den internationella konkurrenskraften hos svensk industri.¹⁸⁴ Flera nya satsningar mot forskning om avancerad materialteknologi genomfördes under perioden, bland annat genom de ytvetenskapligt inriktade ramprogram som diskuterades i det föregående kapitlet. Den kollektiva forskningen vid industriforskningsinstitutet rullade på och expanderade i inkörda spår. De renodlade materialvetenskapliga satsningar som genomfördes vid universitet och högskolor under 1980-talet var samtidigt av ganska blygsam omfattning. Forskningspolitiken var istället, som vi har sett, till stor del inriktad mot program inom området mikroelektronik, vilket begränsade det statliga budgetutrymmet för stora insatser inom andra tekniska forskningsområden. Fokuseringen blir tydlig vid en jämförelse mellan programmets finansiering. Medan ramprogrammen ytors fysik och kemi och den uppföljande satsningen mikronik hade en budget på mellan tre och fyra miljoner kronor årligen uppgick de statliga satsningarna inom det nationella mikroelektronikprogrammet till mer än hundra miljoner kronor årligen under samma period.¹⁸⁵

Materialkonsortieprogrammet blev under 1990-talet den första större svenska forskningssatsningen med en bred inriktning på avancerad materialvetenskap. I detta avseende kan programmet ses som något av en vattendelare i den svenska materialvetenskapens och materialteknikens utveckling. De forskargrupper som ingick i programmet var till stor del desamma som ingått i 1980-talets ytvetenskapliga program. Programmet omfattade även flera av de forskargrupper som varit inriktade på halvledarmaterial inom mikroelektronikprogrammet, bland annat grupper vid Lunds

¹⁸⁴ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 217.

¹⁸⁵ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 217–218.

universitet, Uppsala universitet och Linköpings universitet. Samtidigt breddades programmet till att även omfatta andra forskningsområden som avancerad polymerteknologi, metallurgi och metalliska material. Ett nytt inslag var dessutom materialvetenskaplig forskning med renodlat teoretisk grund. Finansieringen uppgick till sammanlagt 390 miljoner kronor under tio år mellan 1990 och 2000, vilket gjorde det till en mindre satsning än mikroelektronikprogrammet. I jämförelse med tidigare program inom materialvetenskap innebar det emellertid finansiering av tvärvetenskaplig forskning i en helt ny skala. Konsortieprogrammet var dessutom inriktat och koncentrerat mot de starkaste forskningsmiljöerna vid svenska universitet, som genom programmet fick särskilda förutsättningar och som genomgick en snabb utveckling under 1990-talet.

Planeringen av materialkonsortieprogrammet

Materialkonsortieprogrammets vetenskapliga föregångare inom 1980-talets ramprogram för kunskapsutveckling ägnades stort utrymme i det förra kapitlet. Huvudinriktningen inom den materialforskning som finansierades av STU under 1980-talet var emellertid traditionella konstruktionsmaterial till verkstads- och byggnadsindustrin. En tyngdpunkt var inte minst metalliska material och stål i synnerhet – i en sammanställning som STU genomförde 1986 uppskattades att hälften av den svenska materialforskningen vid universitet och forskningsinstitut gällde metall- och stålforskning med stark industrianknytning.¹⁸⁶ Detta begränsade utrymmet för satsningar inom andra områden. STU konstaterade dock i sin anslagsframställning 1986 att man hade börjat vrida sitt stöd i riktning mot material för mer ”kvalificerade” tillämpningar och att denna utveckling skulle fortsätta under den kommande treårsperioden fram till 1989. För en större satsning mot avancerad materialteknologi krävdes emellertid ökade anslag. Inom de befintliga budgetramarna var möjligheterna till omdisponeringar begränsade.¹⁸⁷ STU aviserade därför sin avsikt att inleda diskussioner om ett nationellt materialtekniskt program i samverkan med andra myndigheter på området.¹⁸⁸

Statsvetaren Bo Persson, som har studerat materialkonsortieprogrammets tillkomst och planering, menar att tankegångarna inom STU under senare delen av 1980-talet stod i linje med en vilja hos andra centrala myndigheter att lyfta fram materialvetenskapen

¹⁸⁶ Siffran avser den forskning som ingick inom STU:s område materialteknik. Det innebär att forskning om bland annat halvledarmaterial inte är inräknat. STU, *STU-perspektiv 1986: Plan och förslag 1987/88-1989/90*, STU-information 540-1986 (Stockholm, 1986), s. 58–59.

¹⁸⁷ STU, *STU-perspektiv 1986*, s. 58–60.

¹⁸⁸ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 218.

genom mer kraftfulla satsningar.¹⁸⁹ Persson pekar bland annat på hur IVA uppmärksammade materialvetenskapen inom ramen för flera seminarier och symposier.¹⁹⁰ Ett utredningsarbete initierades under ledning av docent Lennart Malmqvist, som lade fram en rapport hösten 1988.¹⁹¹ Slutsatsen var att Sverige behövde agera snabbt för att inte hamna efter internationellt på materialområdet. Utredningen förordade en bred satsning finansierad genom STU. Rekommendationen var att fyra materialtekniska förnyelsecentra skulle inrättas kring centrala vetenskapliga teman. Centrumen skulle vara självständiga med tidsbegränsade mandat och bedrivs i anslutning till forskningsinstitutioner vid universitet och högskola. Inriktningen skulle vara tvärvetenskaplig med sikte på forskning som kunde leda till industriell kommersialisering inom en tio- till femtonårsperiod.¹⁹² Förslagen stod i samklang med diskussionerna inom STU och dess planeringsavdelning. Under 1987 tog generaldirektören för STU, Sigvard Tomner, initiativ till samråd med berörda myndigheter.¹⁹³ Det handlade i första hand om NFR, som finansierade materialvetenskaplig grundforskning vid universitet och högskolor, samt om myndigheter med intresse i materialforskning inom sina respektive verksamhetsområden. Mikroelektronikprogrammet, som skulle avslutas under 1988, hade bedrivits i bred samverkan mellan flera forskningsfinansierande myndigheter. Förhoppningen var uppenbarligen att åstadkomma en liknande bred uppslutning inom materialforskningen. Samtalen ledde dock inte till några gemensamma förslag. Persson lyfter fram flera orsaker, framförallt att de involverade myndigheterna värnade sina specialområden på bekostnad av gemensamma satsningar. Istället gick STU och NFR, sannolikt med politiskt stöd i ryggen, vidare med ett gemensamt materialvetenskapligt konsortieprogram.¹⁹⁴

Persson menar att man ska se myndigheternas samarbete som något av ett utbyte och pekar på de institutionella motiv som bidrog till den gemensamma satsningen. För STU handlade det om att skaffa sig tillgång till forskningsrådets legitimitet bland ledande universitetsforskare, som man hoppades kunna mobilisera till industriellt inriktade projekt.¹⁹⁵ Konsortieprogrammet, som låg i linje med den universitetsinriktade delen av styrelsens verksamhet, blev samtidigt ett sätt att visa på kapaciteten hos STU att inom sin befintliga organisation stödja kvalificerad teknisk grundforskning. Förhoppningen var att därmed kunna undvika inrättandet av ett fristående tekniskt forskningsråd, som var under diskussion.¹⁹⁶ För NFR handlade motiven om att åstadkomma ett nytillskott

¹⁸⁹ Diskussionen om materialkonsortieprogrammets tillkomst och planering i detta avsnitt bygger till stor del på Perssons forskning.

¹⁹⁰ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 218.

¹⁹¹ IVA, *Svensk materialutveckling i förnyelse*, IVA-meddelande 259 (Stockholm, 1988).

¹⁹² Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 218.

¹⁹³ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 218.

¹⁹⁴ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 218–219.

¹⁹⁵ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 221.

¹⁹⁶ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 220.

av resurser till materialforskningen, som man menade var i stort behov av insatser.¹⁹⁷ Materialvetenskapen låg mitt i det ”gränsland” mellan tillämpad teknisk forskning och grundforskning där många i den forskningspolitiska debatten menade att det fanns ett tomrum (STU-gapet) mellan myndigheternas ansvarsområden.¹⁹⁸ Bildandet 1984 av ett speciellt teknikvetenskapligt forskningsråd, STUF, inom STU ska ses mot denna bakgrund. En utvärdering av svensk forskning inom det fasta tillståndets fysik, som genomfördes 1986, visade att det fanns flera starka forskargrupper vid svenska universitet med inriktning mot materialfysik som var i behov av utökad finansiering för sin fortsatta verksamhet.¹⁹⁹ Behovet handlade om relativt stora program för att uppnå en kritisk massa av forskare med olika vetenskapliga kompetenser, något som inte rymdes inom NFR:s traditionella modell som var att tilldela enskilda forskargrupper projekt av mindre omfattning. Samarbetet med STU blev därmed enligt Persson ett sätt att åstadkomma ett större och mer sammanhållet program med längre löptid. Samtidigt fanns det en politisk press att styra verksamheten i denna riktning. Regeringen hade i sin forskningsproposition 1987 uppmanat forskningsråden till större och mer grundläggande satsningar och materialvetenskapen var ett lämpligt område.²⁰⁰ STU och NFR gick fram med ett gemensamt förslag till nytt konsortieprogram i sitt underlag till regeringens budgetproposition. Ett formellt riksdagsbeslut fattades våren 1990.²⁰¹

Idén att organisera den nya materialsatsningen inom tvärvetenskapliga konsortier kom ursprungligen från planeringsavdelningen inom STU. Förslaget innebar att STU och NFR tillsammans skulle finansiera ett antal konsortier som skulle bildas av en eller flera samverkande forskargrupper vid universitet och forskningsinstitut. Persson pekar på flera viktiga skillnader mellan materialkonsortieprogrammet och de ramprogram för kunskapsutveckling som föregick det under 1980-talet. Att naturvetenskapliga forskningsrådet medverkade i konsortieprogrammet innebar enligt Persson till att börja med en tydligare inriktning mot grundforskning vid universiteten. Finansieringsperioderna blev dessutom väsentligt längre. Inom konsortieprogrammet garanterades de medverkande forskargrupper finansiering under minst fem år, men med möjlighet till en sammanlagd projekttid om tio år. Ramprogrammen hade finansierats i treårsperioder, vilket också var den normala projekttiden vid finansiering genom NFR. En grundtanke var dessutom att besluten om medlens disponering skulle decentraliseras från myndigheterna till forskargrupperna. Inom konsortierna fick forskningsledaren en

¹⁹⁷ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 221.

¹⁹⁸ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 221–222; Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 397 ff.

¹⁹⁹ Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR), *International evaluation of condensed matter physics* (Lund och Stockholm, 1986).

²⁰⁰ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 220–222.

²⁰¹ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 231.

nyckelroll, med möjlighet att besluta om fördelning och omfördelning av resurser mellan de medverkande grupperna.²⁰²

Inspirationen till organisationsformen kom till stor del från utlandet. IVA hade i sin rapport från 1988 förordat en centrummodell, liknande de former för finansiering av tvärvetenskaplig forskning som utvecklats i Storbritannien och USA. Ledningen för STU hade väl utarbetade kontakter med National Science Foundation (NSF) i USA, som under ledning av Erich Bloch börjat förnya sina anslagsformer.²⁰³ Bloch, med en bakgrund i industrin, hade tillsatts som chef för NSF av president Reagans administration med uppdraget att styra universitetens forskning mer mot den avancerade teknikindustrins behov. Ett resultat av denna ambition var satsningen på Engineering Research Centers (ERC) som introducerades som forum för forskningssamarbeten mellan industri och universitet. Bakom centrumen fanns dessutom ambitionen att reformera ingenjörsutbildningen i mer problemorienterad riktning.²⁰⁴ STU konstaterade att centrumbildningen som organisationsform för tvärvetenskaplig forskning var intimt sammankopplad med etableringen av materialvetenskapen och materialtekniken som disciplin:

Tvärvetenskapliga forskningscentra har spelat en viktig roll vid flera av de ledande amerikanska universiteten sedan slutet av 1940-talet. De bildades i regel för att bedriva probleminriktad forskning genom stora anslag eller kontrakt från federala sektororgan. Utan överdrift kan man påstå att datavetenskap och materialvetenskap etablerades som discipliner vid centra av detta slag. Det nya i utvecklingen är att antalet centra vuxit och att de nu framförallt organiseras med sikte på samarbete med industrin. Ofta kombineras finansiering från företag, enskilda, delstater och federala organ. Varje part får på detta sätt en hävstångseffekt av den egna satsningen.

National Science Foundation (NSF), som främst finansierar grundläggande naturvetenskaplig och teknisk forskning, har mycket aktivt främjat utvecklingen av tvärvetenskapliga forskningscentra. Redan under 1970-talet tog NSF initiativ till forskningssamarbete mellan universitet och industri. 1985 fick dessa experiment en mer ambitiös efterföljare genom inrättandet av Engineering Research Centers (ERC). 1988 generaliserades denna modell till andra forskningsområden när de första besluten om s.k. Science and Technology Centers (STC) fattades.²⁰⁵

²⁰² Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 219–221.

²⁰³ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

²⁰⁴ Mody och Choi, "From materials science to nanotechnology", s. 155–156.

²⁰⁵ STU, *STU-perspektiv 1989: Plan och förslag 1990/91–1992/93*, STU-information 738-1989 (Stockholm, 1989), s. 21–23.

De svenska myndigheterna hade god inblick i den amerikanska situationen. Bloch besökte Sverige i mitten av 1980-talet för samtal med ledningen för STU och svenska studiebesök genomfördes vid amerikanska centrumbildningar.²⁰⁶ Inspiration från Engineering Research Centers i USA låg bakom de svenska planerna på materialkonsortier, men modellen med industrianknutna centra gjorde sitt intåg på allvar i det svenska forskningssystemet först med kompetenscentrumen, som introducerades av Nutek 1993 och som hade en tydligare industrikoppling än materialkonsortierna.²⁰⁷

Materialkonsortieprogrammet tog vetenskapligt avstamp i den snabba utveckling som skett inom materialvetenskapen under 1980-talet. I bakgrundsanalysen till programmet konstaterades att fältets utveckling stimulerats genom en kombination av tekniska och vetenskapliga framsteg inom framförallt tre olika områden. För det första skapade den teoretiska utvecklingen och allt bättre tillgång till datorkraft förutsättningar att integrera teoretiska perspektiv i materialutvecklingen på ett sätt som inte hade varit möjligt tidigare:

Teoribildningen inom fasta tillståndets fysik och kvantkemi har genomgått en snabb utveckling. Nya beräkningsmetoder, kombinerade med en enorm utveckling av tillgänglig datorkapacitet, har medfört att det numera är möjligt att förutse egenskaperna även hos komplicerade oorganiska material, legeringar, amorfa system och lågdimensionella strukturer som ytor. Teoribildningen har därmed fått en förnyad vitalitet och en ökad betydelse för den avancerade materialforskningen. Samspelet mellan teoretiker och experimentella materialforskare ökar, vilket kommer att leda till en accelererad materialutveckling.²⁰⁸

Det andra området som STU och NFR lyfte fram var den vetenskapliga instrumenteringen för karakterisering och analys av material. En stor del av utvecklingen var kopplad till halvledarindustrin och dess teknikutveckling:

Inom materialanalysområdet har de mikroskopiska teknikerna utvecklats explosionsartat. Den traditionella elektronmikroskopin arbetar numera regelmässigt med atomär upplösning och förbättrad provtagning medför att in situ studier av exempelvis tunnfilmsprocesser kan utföras.

Än mer spektakulär är utvecklingen av helt nya mikroskoptekniker, sveptunnelmikroskopin och dess komplement atomkraftmikroskopin, som arbetar med sann atomär upplösning av metall-, halvledar- och isolatorytor. Tekniken har redan medfört betydelsefulla genombrott inom den grundläggande materialforskningen för halvledarmaterial och nya genombrott både inom grundläggande och tillämpad

²⁰⁶ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

²⁰⁷ Se nästa kapitel.

²⁰⁸ STU, *Materialteknik: Underlag och förslag till insatser inom ett nationellt program*, STU-information 749-1989 (Stockholm, 1989), s. 23.

materialforskning kan redan förutses. Parallellt har tillgången till högintensiv röntgenstrålning från s.k. synkrotronljuskällor förändrat möjligheterna till röntgenmikroskopi. Kommersiellt är detta redan exploaterat i röntgenlitografisk reproduktion vid tillverkning av integrerade kretsar. IBM i USA och ett antal japanska företag leder denna utveckling.

Röntgenlitografin kommer också att spela en avgörande roll inom utvecklingen av mikromekniken. Röntgenljusets svaga växelverkan med material möjliggör tillverkning av de djupa 3-dimensionella strukturer som är nödvändiga i integrerade elektroniska och mekaniska tillämpningar.²⁰⁹

Slutligen skapade nya syntestekniker möjligheter till skraddarsydd materialutveckling, med tonvikt på kontroll av materialens ytor och gränsskikt. Även inom detta område handlade det om en teknisk utveckling som till stor del skett inom halvledarindustrin:

Även om framstegen inom materialområdets teoribildning och analys har varit imponerande under de senaste åren har utvecklingen på syntessidan varit än mer fundamental. Nya tekniker som molekylstrålepitaxi, kemisk deponering (CVD), magnetron sputtering och jonbehandlingsmetoder har på ett avgörande sätt förändrat möjligheterna att atom för atom skraddarsy nya material med unika magnetiska, elektriska och mekaniska egenskaper. Hittills har denna utveckling främst drivits av innovationer inom halvledarindustrin och i viss mån verktygsindustrin. Teknikmässigt har därför länder med stark halvledarindustri ett försprång inom detta teknikområde. Både inom grundforskning och på tillämpningssidan kommer dock utvecklingen att bli av stor betydelse också för andra materialklasser. Avgörande utvecklingar kan förutses bland annat inom hårdmetallområdet, optisk kommunikation och optiska datorer, magnetoptisk lagring, keramsupraleddare och keramer för konstruktion, medicin och katalysttillämpningar.²¹⁰

Denna analys kom till uttryck i programledningens sammansättning där de vetenskapliga experterna hämtades från just dessa tre områden. Teoribildningen representerades av Börje Johansson från Uppsala universitet, en av landets ledande materialteoretiker, materialanalysen av Anders Flodström, professor i materialfysik vid KTH och som tidigare hade lett arbetet med synkrotronljusanläggningen MAX-lab i Lund och materialsyntesen av Jan-Otto Carlsson, som var drivande i tunnfilmssamheten vid Uppsala universitet. Att materialvetenskapen skulle finansieras inom ramen för större konsortier, med relativt stora ekonomiska resurser, hängde samman med uppfattningen att forskningen borde bedrivas i bredare grupper som med representanter för olika specialiseringar.

²⁰⁹ STU, *Materialteknik*, s. 23–24.

²¹⁰ STU, *Materialteknik*, s. 24.

De vetenskapliga representanternas uppgift var att hjälpa myndigheternas handläggare att granska och bedöma konsortieförslagen ur vetenskaplig synvinkel. Göran Friberg, Staffan Hjort och Ingela Agrell representerade STU.²¹¹ Urvalsgruppens arbete inleddes redan innan regeringen och riksdagen formellt hade tagit ställning till programmet. Inbjudan om ansökan av planeringsbidrag gick ut till forskarsamhället våren 1988 och av det dryga sjuttiofå förslag som kom in gick tjugo vidare till en andra ansökningsomgång baserat på mer en detaljerad ansökan. I de anslagsframställningar som myndigheterna gick in med 1989 hade 11 konsortier valts ut till programmet från dessa 20 förslag.²¹²

Förslag till materialkonsortier från STU och NFR till regeringen sommaren 1989:

- 1 *Material med unika funktionella egenskaper.* Forskningsledare: Jan-Eric Ståhl (Lunds universitet), Olle Wijk (KTH) och Roger Wäppling (Uppsala universitet).
- 2 *Tunnfilmsprocesser, kontroll av mellanytor samt framställning av diamantskikt.* Forskningsledare: Jan-Otto Carlsson och Sören Berg (Uppsala universitet).
- 3 *Enkristallina skikt – tillväxt och artificiella strukturer.* Forskningsledare: Jan-Eric Sundgren (Linköpings universitet).
- 4 *Nanometerstrukturer – framställning, karakterisering och tillämpningar.* Forskningsledare: Lars Samuelson (Lunds universitet).
- 5 *Yt- och tunnfilmsegenskaper hos keramiska överlager – metalloxidiska ytstrukturer.* Forskningsledare: Jan Paul (KTH).
- 6 *Kluster och ultrafina partiklar.* Forskningsledare: Arne Rosén (CTH), Mamoun Muhammed (KTH) och Nils Mårtensson (Uppsala universitet).
- 7 *Polymera system – gränsskiktinteraktioner.* Forskningsledare: Thomas Hjertberg (CTH).
- 8 *Biomaterial – ytmodifiering, ytanalys, modellstudier, nya material, makromolekyler och ytor.* Forskningsledare: Bengt Kasemo (CTH) och Ingemar Lundström (Linköpings universitet).
- 9 *Teoribaserade expertsystem för materialutformning.* Forskningsledare: Bengt Lundqvist (CTH), Börje Johansson (Uppsala universitet) och Göran Grimvall (KTH).
- 10 *Datorstödd material- och processutveckling.* Forskningsledare: Bo Sundman (KTH).
- 11 *Högtemperatursupraleddande material.* Forskningsledare: Tord Claeson (CTH).

Källa: STU, *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).*

²¹¹ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 223.

²¹² Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 223–224.

Styrande under urvalsprocessen var sju bedömningskriterier som STU och NFR enats om och som utgick från både vetenskaplig kvalitet och industriell nytta.²¹³ Dessa var: tvärvetenskaplighet i forskningsansatsen, att forskningen gällde ett internationellt ”brännande” område, relevansen för svensk industri, att konsortiet hade geografisk tyngdpunkt i en högskolemiljö, deltagande från svensk industri, industriforskningsinstitut och andra högskolor, internationellt samarbete samt en stark konsortieledning.²¹⁴ Materialkonsortierna gick till landets ledande materialforskare, med en tonvikt i inriktning mot avancerad materialforskning. Anders Flodström, Jan-Otto Carlsson och Börje Johansson tillhörde själva denna grupp och ingick i ledningen för tre olika materialkonsortier med bas vid KTH, Uppsala universitet och Chalmers-Uppsala.

Materialkonsortieprogrammet löpte mellan 1990 och 2000. För de forskargrupper som beviljades finansiering handlade det om ett betydande resurstillskott som dessutom kunde disponeras relativt fritt. Programmet var både var mer omfattande än tidigare materialsatsningar och samtidigt koncentrerat till ett begränsat antal forskargrupper. Finansieringen inom programmet ökade gradvis från 11 miljoner kronor under budgetåret 1990/91 till 45 miljoner kronor under 1993/94 och stannade sedan på den nivån fram till 2000. Konsortierna fick i genomsnitt ett anslag om fyra miljoner kronor årligen. Det kan jämföras med anslagen inom STU:s ramprogram för kunskapsutveckling, inom vilka forskargrupperna normalt finansierades med omkring tre hundra tusen kronor årligen. Sammanlagt uppgick den statliga finansieringen inom konsortieprogrammet till 390 miljoner kronor under perioden fram till sommaren 2000 då programmet avslutades. Till detta kom speciella anslag för utrustning och instrumentering. Under de två första åren av programmet, budgetåren 1990/91 och 1991/92, reserverade forskningsrådsnämnden sammanlagt 50 miljoner kronor för detta ändamål.

I det följande ska vi titta närmare på programmets innehåll.²¹⁵ Det utvärderades tre gånger av en internationell panel under perioden – 1991 (fokus på konsortiernas struktur), 1992 (resultat) och 1995 (resultat) samt 2002 efter att programmet avslutats. Som en konsekvens av de första utvärderingarna avvecklades tre av de ursprungliga elva konsortierna runt 1995/96. Programmet slutfördes med åtta konsortier. Programmet överfördes 1997 till Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) som avslutade det 2000. SSF gjorde därefter en större egen satsning på området inom ett strategiskt materialprogram.

²¹³ Persson, *Motsträviga myndigheter*, s. 224.

²¹⁴ STU, *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²¹⁵ Av de 11 konsortierna diskuteras 10 nedan under egna rubriker. Metaller med unika funktionella egenskaper finns inte närmare beskrivet.

Nanometerkonsortiet

Bakom konsortiet om nanometerstrukturer stod en grupp forskare vid Lunds universitet med bas i en forskargrupp vid institutionen för fasta tillståndets fysik under ledning av professor Lars Samuelson. Konsortiet byggde på ett samarbete mellan forskare inom fasta tillståndets fysik och materialkémister vid Kemacentrum och var inriktat mot tvärvetenskaplig forskning om nya metoder och teknologi för framställning av nanometerstora strukturer med tillämpningar inom elektronik och andra områden.

Förslaget till konsortium tog sin utgångspunkt i lokal tillgång till synnerligen avancerade laboratorieresurser. Under 1980-talet hade vid Lunds universitet en kontinuerlig utbyggnad av vetenskaplig infrastruktur skett inom konsortiets båda huvudsakliga kompetensområden: nanometerteknologi och mikroskopisk karakterisering. Finansieringen kom delvis genom det nationella mikroelektronikprogrammet (NMP) där Lunds universitet tillsammans med Chalmers och Linköpings universitet var tongivande inom grundforskningsdelen och den del av programmet som syftade till framställning och karakterisering av halvledarmaterial. En viktig del av finansieringen under 1980-talet kom dessutom genom en bankdonation som möjliggjorde en utbyggnad av institutionen. Forskningen var relativt nyetablerad när mikroelektronikprogrammet startade 1984. Samuelsons forskargrupp var specialiserad på avancerade epitaximetoder, med tonvikt på materialframställning genom metal organic chemical vapour deposition (MOCVD).²¹⁶ Fördelen med metoden, och skillnaden mot konventionell epitaxi, var att kristalluppbyggnaden inte skedde genom fysisk deponering utan genom reaktion mellan gaser vid relativt hög temperatur. Inriktningen var framställning av halvledare och transistorer av galliumarsenid och aluminiumgalliumarsenid, som snabbare alternativ till kiselelektronik i bland annat optiska kommunikationssystem. Stora utrustningsinvesteringar inom detta område och litografiutrustning i början och mitten av 1980-talet lade grunden till det som senare blev nanometerlaboratoriet.²¹⁷

Den andra byggstenen i konsortiet var den infrastruktur för materialkarakterisering som fanns vid universitetet. Kemacentrum vid Lunds universitet hade 1987 etablerat ett nationellt centrum för högupplösande elektronmikroskopi (NCHREM), med avancerade transmissionselektronmikroskop (TEM) som kompletterade fysikinstitutionens materialanalys, som byggde på svepelektronmikroskopi och optisk spektroskopi. Ett gemensamt behov av utrustning blev utgångspunkten för samarbetet inom nanometerkonsortiet, som etablerades 1988 genom kontakter mellan Samuelson och Per Omling

²¹⁶ Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 3.

²¹⁷ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

vid fasta tillståndets fysik och kemisterna Jan-Olov Bovin och Reine Wallenberg.²¹⁸ Mellan forskargrupperna fanns dessutom överlappande kompetenser, med verksamhet i gränslandet fysik-kemi, vilket underlättade etableringen av ett samarbete. Till nanometerkonsortiet kopplades dessutom forskningen vid MAX-laboratoriet, där synkrotronljuskällan utnyttjades för olika former av elektron-spektroskopi.²¹⁹

En bärande del i förslaget, som det formulerades 1989, var samarbetet med industriella forskningslaboratorier internationellt. Flera av industrisamarbetena gick långt tillbaka i tiden. Hermann Grimmeiss, som etablerade fasta tillståndets fysik vid Lunds universitet, hade en industriell bakgrund vid Philips forskningsenhet. Ett betydande utbyte skedde dessutom med IBM och dess olika forskningslaboratorier. Samuelson hade tillbringat perioder vid forskningscentra hos IBM i USA.²²⁰ Industrikontakterna var en viktig kanal för att få kunskap inom nya teknologiområden för framställning och karakterisering av nanostrukturer. I samband med konsortiets planering pågick ett arbete med att introducera och bygga upp en kompetens inom sveptunnelmikroskopi (STM) och atomkraftmikroskopi (AFM). Det skedde genom direktkontakter med IBM i Yorktown Heights i USA, där en postdoktoral forskare var stationerad under 1988–89 för att lära sig teknologin.²²¹ En annan forskare var stationerad vid IBM i Zürich för arbete med ett projekt om katodluminiscens för optiska studier av nanometerstrukturer.²²² Ett ytterligare samarbete med Zürich planerades också runt en försöksverksamhet där epitaxiutrustning kombinerades med svepelektronmikroskop för lokal kontrollerad epitaxi med tillväxten stimulerad av mikroskopets elektronstråle.²²³

Industrin som samarbetspartner nationellt representerades i konsortiet av framförallt två företag, Epiquip AB och Vacutec AB, tillverkare av hårdvara för epitaxi och etsning av halvledarmaterial och baserade i regionen Lund och Malmö. Lunds universitet var tekniskt och vetenskapligt nära kopplat till Epiquip AB, som tillverkade epitaxiutrustning som utvecklats ur forskning vid fasta tillståndets fysik.²²⁴ Samuelson var 1984–

²¹⁸ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

²¹⁹ Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 3.

²²⁰ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

²²¹ Forskaren var Lars Montelius. Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 10.

²²² Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 11.

²²³ Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 3.

²²⁴ Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 3.

85 anställd vid företaget en kortare period som expert på vätskefas epitaxi.²²⁵ I konsortiet ingick under 1990-talet dessutom Ericsson Components och Ericsson Microwave Systems samt Tetra Pak Research and Development och Perstorp Analytica.²²⁶

Konsortiets metoder och tekniker för framställning och karakterisering av ytterst små materialstrukturer hade alla sin grund i halvledarframställning. Samuelson hade 1988 börjat intressera sig för framställning av heterostrukturer, lagrade strukturer i nanometerskala. Halvledarmaterial och halvledarstrukturer var centrala tillämpningar även inom konsortiet, som samtidigt breddades mot andra tillämpningsområden. I den ursprungliga skissen till konsortieförslag från 1989 pekades fyra tillämpningsområden ut. Det första var nanometerstrukturer för kvantfysikstudier, och forskning runt nya fysikaliska modeller och designkoncept för konstruktion av kretsar och elektronik baserad på nanometerstora strukturer. Det andra området var forskning och utveckling av nanometerstrukturer för elektronik, med tillämpningar inom höghastighetselektronik, optisk kommunikation och digitala processer. Dessutom skisserades två tillämpningsprojekt, som utnyttjade nanometerstrukturer i biotekniska och biofysiska applikationer. Ett delprojekt skulle handla om mikrostrukturerade ytor anpassade för immobilisering av antikroppar och enzymer i bioanalytiska tillämpningar. Ett andra gällde biofysiska studier av uppträdandet hos makromolekyler som proteiner genom koppling till väldefinierade metall och halvledarytor.²²⁷

Under loppet av 1990-talet fick forskningen inom nanometerkonsortiet positiva omdömen i de internationella utvärderingarna.²²⁸ Ett genombrott skedde 1994 när Lars Samuelsons forskargrupp blev först i världen med att framställa kvantprickar, eller quantum dots, med epitaxiella metoder.²²⁹ Från mitten av 1990-talet dominerades verksamheten inom konsortiet mot denna bakgrund av forskning om metoder för att bygga upp, kontrollera och karakterisera noll-dimensionella kristallstrukturer. Det skedde inom två delvis olika områden. Det första området var metoder för framställning av kvantprickar genom epitaxiell överodling. Ett nära relaterat område var studier av begrävda metalliska nanostruktur med elektroniska egenskaper lämpade för nanoelektronik. Det andra området handlade om aerosolbaserad tillverkning av nanokrystaller av metaller och halvledare, som efter deponering flyttades och

²²⁵ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

²²⁶ SSF, *Tvårvetenskapliga materialkonsortier* (Stockholm, 1998).

²²⁷ Beskrivning av konsortium "nm-strukturer: framställning, karakterisering och tillämpningar", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 16–19.

²²⁸ NUTEK och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*, NUTEK R 1991:26 (Stockholm, 1991); NUTEK och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1992*, NUTEK R 1992:45 (Stockholm, 1992); NUTEK och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1995*, NUTEK R 1995:46 (Stockholm, 1995).

²²⁹ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

positionerades relativt nanoelektroder med hjälp av atomkraftsmikroskop (AFM). Med metoden framställdes kvantkomponenter som kunde fungera i rumstemperatur.²³⁰ Mot slutet av 1990-talet togs ett steg i en delvis annan vetenskaplig riktning genom etablering av forskning om kvantrådar. Forskningen om nanotrådar kom successivt, från 2001 och framåt, att dominera inom konsortiet som fortsatte verksamheten även efter att den ursprungliga finansieringen löpt ut sommaren 2000.²³¹

Supraledande material

Forskning om högtemperatursupraledning var ett vetenskapligt område som tilldrog sig stort intresse under senare delen av 1980-talet. Under en kort tidsperiod mellan 1986 och 1987 skedde ett antal vetenskapliga genombrott som innebar att temperaturen där supraledning uppträder höjdes från ett mycket lågt, heliumkyllt temperaturintervall till ett område där mer lättarbetat flytande kväve kunde utnyttjas i vetenskapligt arbete. Under 1988 och 1989 identifierades supraledande system med kritiska temperaturer upp till 125° K. Forskningsansatningar, med både statlig och industriell finansiering, inleddes med den långsiktiga förhoppningen att kunna framställa supraledare utan behov av kylning, vilket skulle vara materialtekniskt och industriellt revolutionerande.²³²

Flera svenska forskningsprogram inrättades mot bakgrund av den snabba internationella utvecklingen. Det handlade dels om stöd i projektform genom NFR, dels om programfinansiering genom STU. Ett ramprogram om kunskapsutveckling kring högtemperatursupraledande material hade skyndsamt inletts redan sommaren 1988.²³³ Mellan 1990 och 1993 finansierade STU och senare Nutek ett utbyggt ramprogram med en budget om fem miljoner kronor årligen.²³⁴ Inom den svenska industrin tilldrog sig utvecklingen samtidigt intresse. ABB och Ericsson genomförde en gemensam utredning som konstaterade att det inte kunde uteslutas att högtemperatursupraledande material kunde få stora konsekvenser för svensk industri under 1990-talet. Industriella tillämpningar fanns långsiktigt inom energirelaterad elektroteknik, som elkraftgenerering och transmission. Mer omedelbart aktuella var elektroniska tillämpningar, bland annat sensorer.²³⁵ För att driva arbetet vidare bildade ABB och Ericsson tillsammans med FOA, med finansiering av STU, NFR och Energimyndigheten, ett industriellt centrum för att studera högtemperatursupraledning, med delprojekt inom processteknik

²³⁰ Se beskrivning av konsortiets forskning i SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier* (Stockholm, 1998).

²³¹ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

²³² Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 3.

²³³ STU, *Materialteknik: Förslag till FoU-program budgetåren 1990/91-1992/93*, STU-information 742-1989 (Stockholm, 1989), s. 38.

²³⁴ STU, *STU-perspektiv 1989*, s. 96.

²³⁵ "Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 8.

och materialteknik och tillämpningsprojekt inom framförallt elektroniska tillämpningar.²³⁶

Det var i detta sammanhang som ett förslag till ett materialkonsortium om supraledande material utarbetades och positionerades vetenskapligt och organisatoriskt. I konsortiet ingick ett tiotal forskargrupper i Göteborg, Linköping och Stockholm.²³⁷ Initiativet kom från professor Tord Claeson vid fysiska institutionen på Chalmers, med lång erfarenhet av supraledningsforskning och ett starkt internationellt kontaktnät. Ett huvudprojekt när konsortiet initierades var utveckling och karakterisering av högttemperatursupraledare baserade på tunnfilmsteknik, med sikte på elektroniska tillämpningar.²³⁸ Materialproblem stod i centrum, men forskningen behandlade dessutom ett brett spektrum av relaterade problem. De nödvändiga processerna byggde på kompetens inom en rad vetenskapliga discipliner.²³⁹ I konsortiet involverades Bengt Lundqvist och Göran Wendin från teoretisk fysik vid Chalmers. Forskargrupper från KTH medverkade, bland annat fysikern och supraledningsforskaren Östen Rapp och David Rowcliffe, med inriktning mot keramteknologi. Det fanns även ett militärt intresse i forskningen och FOA 3 medverkade med specialistkunskap om högfrekvensförstärkare och andra områden.²⁴⁰

Ett centralt inslag i forskningen var analys och framställning av nanostrukturer och tunna filmer. Linköpings universitet bidrog, genom Jan-Eric Sundgren, Lars Hultman och Ulf Helmersson, med kompetens inom tunnfilmsområdet.²⁴¹ Tillverkningsresurser fanns även internt inom Chalmers, där ett submikronlaboratorium med avancerad utrustning för elektronlitografi hade etablerats 1986. Inom fysikinstitutionen vid Chalmers fanns avancerad utrustning och kunskap om materialkarakterisering, bland annat Lena Torell och Lars Börjesson vid materialfysik och Gordon Dunlop och Eva Olsson inom elektronmikroskopi.²⁴² I detta avseende finns likheter med nanometerkonsortiet i Lund, även om forskningsinriktningarna skiljer sig. I båda fallen handlar det

²³⁶ STU, *Materialteknik*, s. 38.

²³⁷ SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 24.

²³⁸ I förslaget till konsortium betonades att utvecklingen var snabb och att inriktningen kunde komma att ändras i takt med förändringar i omvärlden. Fem konkreta projekt listades samtidigt: 1) Grundläggande materialegenskaper och förståelse av högttemperatursupraledning; 2) Bulkmaterial för tråd för exempelvis magneter; 3) Transmissionsledningar för snabba pulser och höga frekvenser; 4) Supraledande tunnelement (svaga länkar) – grunden för elektroniktillämpningar; 5) Supraledare med begränsade dimensioner – framåtsyftande material. Se: ²³⁸ "Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 8–9

²³⁹ SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 24.

²⁴⁰ Intervju med Östen Rapp den 17 september 2015; "Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 13.

²⁴¹ "Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 13.

²⁴² "Förslag till materialkonsortium rörande supraledning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 13.

om forskningsmiljöer som byggts upp med internationella nanofabrikationscentrum som modell och med specialisering inom framställning och bearbetning av nanometerstora strukturer.²⁴³ Likheterna understryks av att Lars Samuelson under en kort tid 1986 var verksam som professor vid Chalmers, innan han återvände till Lund för en nyinrättad professur.²⁴⁴ Det fanns vid sidan av supraledningsforskningen vid Chalmers ett starkt kunnande inom framställning av halvledarmaterial med MBE-metoder, som dock inte blev föremål för någon satsning inom konsortieprogrammet.

De fortsatta snabba genombrott som många hade hoppats skulle komma under 1990-talet uteblev till stor del, liksom de industriella tillämpningarna. Inte minst stora materialproblem gjorde att industrins intresse efterhand svalnade.²⁴⁵ Forskningen inom det svenska supraledningskonsortiet handlade mot den bakgrunden till stor del om elektroniska applikationer. En forskningsinriktning var mot digitala höghastighetskretsar, snabbare och med lägre värmeutveckling än konventionella kretsar. Med hjälp av supraleddning tillverkades sensorer med hög känslighet för magnetiska fält och högfrequensdetektorer för radioastronomi.²⁴⁶ Viktiga effekter var de indirekta.²⁴⁷ Forskningen inom supraledningskonsortiet och mikrofabrikationslaboratoriet ledde vidare och lade grunden till viktiga delar av nanoforskningen vid Chalmers.²⁴⁸ Per Delsing och Dag Winkler, som medverkade i konsortiet, etablerade egna forskargrupper till stor del baserat på forskning inom supraledningsområdet under 1990-talet. Submikronlaboratoriet utvecklades till kärnan i Chalmers mikroteknologilaboratorium, som bildades 2001 med industri och forskargrupper vid universitet som användare. Mikroteknologilaboratoriets inriktning har blivit funktion hos komponenter och system snarare än detaljerade materialstudier. Forskningen omfattar bland annat hur nanometerstrukturerade biokompatibla material växer ihop med vävnad och defektrelaterat brus i detektorer för teleskop eller satelliter, som studerar molekyler eller bakgrundsstrålning i rymden, kan minimeras genom lämpligt val av strukturers utformning och processning.²⁴⁹

Tunnsfilmsforskningen i Linköping

Jan-Eric Sundgren medverkade som specialist på tunnsfilmsprocesser i supraledningskonsortiet, men tunnsfilmsforskningen vid Linköpings universitet blev dessutom stommen i ett separat konsortium under hans ledning. Bakom Linköpings position på

²⁴³ I samband med etableringen av submikronlaboratoriet 1986 fanns kontakter med Cornell university i USA, som hade byggt upp en "national facility" för submikronstrukturer i början av 1980-talet. Mody och Choi; Intervju med Tord Claeson den 7 oktober 2015.

²⁴⁴ Intervju med Lars Samuelson den 17 november 2015.

²⁴⁵ Intervju med Tord Claeson den 7 oktober 2015.

²⁴⁶ SSF, *Tvårvetenskapliga materialkonsortier*, s. 24.

²⁴⁷ Intervju med Ingela Agrell den 1 oktober 2015.

²⁴⁸ Intervju med Tord Claeson den 7 oktober 2015.

²⁴⁹ Uppgifter från Tord Claeson.

området fanns den verksamhet som byggts upp av Stig Hagström under 1970-talet. Hagströms forskning bedrevs inom två olika forskargrupper, vetenskapligt till stor del skilda från varandra. Den första gruppen handlade om grundforskning inom materialområdet, med halvledarfysik som ett viktigt forskningsområde. Den andra bedrev verksamhet inom tillämpad materialfysik, med inriktning mot ytbeläggningsmetoder och tunnfilmsprocesser.²⁵⁰ Hagström lämnade Linköpings universitet 1976 och blev chef för General Sciences Laboratory vid Xerox PARC i USA, men fortsatte att leda och aktivt driva tunnfilmsverksamheten vid Linköping på distans. Ett antal doktorander disputerade med Hagström som handledare fram till början av 1980-talet.²⁵¹ Anders Flodström, som koordinerade synkrotronljusforskningen vid MAX-Lab i Lund, spelade dessutom en viktig roll för att säkra kontinuiteten i Linköpings materialvetenskap sedan Hagström lämnat verksamheten.

Under 1980-talet utvecklades materialfysiken vid Linköpings utefter ett antal olika linjer. Bo Monemar, som efterträdde Stig Hagström som professor i materialfysik, kom 1983 från Hermann Grimmeiss forskargrupp vid Lunds universitet. Monemar introducerade därmed en delvis ny forskningsinriktning vid Linköpings universitet som fortfarande var nytt och under etablering, och som i vissa avseenden liknade den verksamhet som Lars Samuelson byggde upp i Lund under 1980-talet. I vetenskaplig mening var det framförallt Jan-Eric Sundgren, som disputerade 1982, som drev den tillämpade materialfysiken och forskningen om tunnfilmsprocesser vidare. Sundgren bedrev under 1980-talet en brett inriktad forskning, mot halvledarmaterial och slitstarka och nötningståliga skikt. En viktig del var ett samarbete som byggdes upp med professor Joe Greenes forskargrupp vid University of Illinois, som bidrog till verksamhetens utveckling vid Linköping, bland annat inom hårda material som titannitrid och teoribildning om tunnfilmsprocesser. Under 1985–86 var Sundgren verksam inom Greenes grupp i USA. Greene vistades i sin tur senare som gästprofessor i Linköping. För att säkra kontinuiteten i tunnfilmsforskningen fick Sundgren 1990 en nyinrättad professur i tunnfilmsteknik.²⁵² Slutligen bedrevs den teoretiska spektroskopiska materialfysiken vidare som en tredje linje i nära anslutning till verksamheten vid MAX-laboratoriet i Lund, som fram till 1985 förestods av Anders Flodström.²⁵³

När materialkonsortierna blev aktuella under 1989 utarbetade Monemar och Sundgren ett gemensamt förslag för Linköpings universitet. Förslaget speglade hela bredden i materialfysiken vid Linköpings universitet som den kommit att utvecklas under 1980-talet. Konsortiets målsättning skulle vara att ”höja kompetensen såväl inom landet som internationellt, i första hand inom frågeställningar relaterade till epitaxiell tillväxt,

²⁵⁰ Intervju med Anders Flodström den 25 september 2015.

²⁵¹ Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015; Intervju med Anders Flodström den 25 september 2015.

²⁵² Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

²⁵³ Intervju med Anders Flodström den 25 september 2015.

lågtemperaturlivväxt samt skräddarsydda strukturer inom ett brett spektrum av material.”²⁵⁴ I förslaget listades inte mindre än sju olika delprojekt som motsvarade institutionens forskningsinriktningar.²⁵⁵ Liksom i nanometerkonsortiet och flera av de andra konsortierna var tillgången till avancerade laboratorieresurser och instrument för syntes och karaktärisering en utgångspunkt, som till stor del definierade forskningens innehåll och miljö. Linköpings universitet var tillsammans med Chalmers och Lunds universitet en av de stora mottagarna av grundforskningsstöd inom materialområdet inom mikroelektronikprogrammet under 1980-talet, vilket hade möjliggjort investeringar i teknisk infrastruktur för avancerad tunnfilmsforskning. Sedan 1984 förfogade institutionen över Skandinavien enda kisel-MBE-system. Den bildade stommen i ett antal projekt inriktade mot epitaxiell tillväxt av halvledarmaterial under Jan-Eric Sundgrens ledning. Bo Monemars del i konsortiet handlade precis som forskningen inom nanometerkonsortiet om MOCVD-processer för III-V-material som galliumarsenid, med möjliga applikationer som höghastighetselektronik, optoelektronik och optisk kommunikationsteknik. En tredje grupp projekt handlade om avancerad materialkaraktärisering och instrumentteknik, bland annat sveptunnelmikroskopi.²⁵⁶

I den internationella utvärdering av konsortiernas organisation och struktur som genomfördes hösten 1991 kritiserades det breda upplägget och bristen på tillämpad forskning i tydliga ordalag:

Excellent work is being done on a number of application – relevant materials in the thin film laboratory at Linköping University. Past efforts on the growth of Si-Ge, SiC-Si, on Mo-V and TiN are well suited for building an interdisciplinary program by combining with engineering capability in the same university. [...]

The potential of shaping this research package into a real consortium is there. It remains for the scientists to define research projects that make this into an

²⁵⁴ Beskrivning av konsortium “Tunnfilmstillväxt: Epitaxiell tillväxt, lågtemperaturlivväxt och artificiella strukturer”, i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁵⁵ Delprojekten var: 1.1: Epitaxiell tillväxt av Si, Ge samt Si-Ge skikt (Göran Hansson, Jan-Eric Sundgren); 1.2: Selektiv III-V-epitaxi med laserassisterad MOCVD (Erik Janzén och Bo Monemar); 1.3: Gittermissanpassade filmer på Si substrat (Jan-Eric Sundgren, Lars Hultman, Magnus Williander, Ingemar Lundström); 1.4: Tillväxt av periodiska och kvasiperiodiska supergitterstrukturer (Jan-Eric Sundgren, Rolf Riklund); 1.5: Lågtemperaturlivväxt (Jan-Eric Sundgren, Lars Hultman); 1.6: Skräddarsydda strukturer för katalys (Lars-Gunnar Pettersson, Ragnar Erlandsson, Ingemar Lundström); 1.7a: Sveptunnelmikroskopi (Per Mårtensson, Roger Uhrberg, Ragnar Erlandsson); 1.7b: Transmissionselektronmikroskopi (Lars Hultman); 1.7c: Karakterisering av artificiella halvledarstrukturer (Bo Monemar, Per Olof Holtz, Chen). Beskrivning av konsortium “Tunnfilmstillväxt: Epitaxiell tillväxt, lågtemperaturlivväxt och artificiella strukturer”, i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁵⁶ Beskrivning av konsortium “Tunnfilmstillväxt: Epitaxiell tillväxt, lågtemperaturlivväxt och artificiella strukturer”, i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

interdisciplinary and applied field of research. It is necessary to include activities in the engineering area. The selection of a few specified materials and their desired functional qualities in an engineering sense are required in the project. To produce more than the sum of the parts, there must be the added dimension of interactive feedback between growth and device functions.

As in other consortia, the major partners have additional projects. The consortium-related research needs to be identified as a single unit and funded accordingly. As soon as possible this consortium should be restructured and newly organized in a way to make clear the interdisciplinary character.²⁵⁷

Sundgren, som ledde konsortiet, tog intryck av kritiken.²⁵⁸ Resultatet blev en omstrukturering som fick mycket positiva omdömen i de uppföljande internationella utvärderingarna 1992 och 1995.²⁵⁹ Inriktningen hos det omformade konsortiet koncentrerades mot framförallt två områden. Det första området var lågtemperaturtillväxt, med tonvikt på framställning av epitaxiella skikt av kiselkarbid för kraftelektronik och beläggning av slitstarka tunnfilmer med låg friktion på ståltytor. Det andra var tunnfilmsprocesser för framställning av supergitter och heterostrukturer med fokus på mekaniska, tribologiska och katalytiska egenskaper hos materialen.²⁶⁰ Förändringarna innebar att Bo Monemars forskargrupp utgick ur konsortiet. Istället koncentrerades halvledarforskningen till en grupp under ledning av Erik Janzén, som sedan 1980-talet bedrivit forskning om kiselkarbid för högspänningselektronik vid ASEA och ABB Corporate Research och som sedan 1987 var adjungerad professor i halvledarfysik vid Linköpings universitet.²⁶¹ Samtidigt förnyades konsortiets industrikontakter och forskningsarbeten. Ett samarbete etablerades av Lars Hultman med Sture Hogmarks forskargrupp vid Uppsala universitet inom området tribologiska skikt för verktygsapplikationer.²⁶² Industriellt samarbetade konsortiet med SKF genom vidhäftningsstudier av kolbaserade skikt på kullagerstål och med SECO Tools och Sandvik som hade intressen av ytbeläggning av verktyg i hårdmetall.²⁶³

Tunnfilmskonsortiet, och den omstrukturering som genomfördes efter utvärderingen 1991, kom att få stor betydelse för den fortsatta materialforskningen vid Linköpings

²⁵⁷ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*, s. 15–16.

²⁵⁸ Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

²⁵⁹ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1992*, s. 12–14; *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1995*, s. 13–15.

²⁶⁰ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1992*, s. 12.

²⁶¹ Förslag till Strategiskt forskningsområde i materialvetenskap Linköpings universitet, *Advanced functional materials* (bilaga CV Erik Janzén); Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

²⁶² Intervju med Jan-Eric Sundgren den 3 november 2015.

²⁶³ SSF, *Tvårvetenskapliga materialkonsortier*, s. 9.

universitet. Forskningen om kiselkarbid var del av en bredare satsning, som dessutom omfattade andra institutioner, med rötterna i det nationella mikroelektronikprogrammet under 1980-talet och dess efterföljare. Medan Linköpings universitet bedrev materialrelaterad forskning, var forskare vid framförallt KTH involverade i komponentutvecklingen i anslutning till den minifabrik för kraftelektronik som ABB byggde upp i Kista.²⁶⁴ ABB fattade senare ett strategiskt beslut och drog sig ur programmet. Forskningen drevs vidare under nya programformer. En forskarskola om kiselkarbid-elektronik etablerades 1996 under Erik Janzéns ledning och med finansiering genom Stiftelsen för strategisk forskning (SSF). Satsningen var omfattande, den totala budgeten var 90 miljoner kronor under en sjuårsperiod fram till och med 2002, vilket innebar att kiselkarbidforskningen kunde lyftas ut ur konsortiet.²⁶⁵ Satsningarna på kiselkarbid har satt avtryck i materialforskningen i Linköping och gett upphov till nya inriktningar. En stor del av den forskning om grafén som bedrivs under Rositza Yakimovas ledning har sin bakgrund i materialkompetensen inom kiselkarbid.²⁶⁶

Mellan 1990 och 1995 leddes tunnfilmskonsortiet av Jan-Eric Sundgren som 1998 lämnade Linköpings universitet för att bli rektor vid Chalmers. Tunnfilmsforskningen utvecklades vidare av Lars Hultman, som förestod konsortiet mellan 1995 och 2000.²⁶⁷ Tunnfilmskonsortiet vid Linköpings universitet hör till de delar av materialkonsortieprogrammet som SSF beslutade att fortsatt stödja genom de ramanslag inom materialvetenskap som beslutades 1999. Mellan 2000 och 2006 fick Lars Hultman ett anslag på drygt 30 miljoner kronor för fortsatt forskning om lågtemperaturlivväxt, vilket innebar fortsatt finansiering i samma storleksordning som inom konsortieprogrammet.²⁶⁸ Denna del av konsortiet har dessutom utgjort kärnan i de centrumbildningar som tagit vid inom ramen för andra program, till stor del med utgångspunkt i samma industrisamarbeten.

Ångströmkonsortiet – tunnfilmsforskningen i Uppsala

Bakom förslaget till ett konsortium om tunnfilmsforskning i Uppsala stod en grupp forskare under ledning av professor Sören Berg och professor Jan-Otto Carlsson. Berg och Carlsson hade sedan 1970-talet byggt upp internationellt erkända forskargrupper inom tunnfilmsområdet vid Uppsala universitet. Under 1980-talet spelade de en aktiv och drivande roll i STU:s programsatsningar inom det avancerade materialområdet, med egna projekt och som rådgivande specialister i programplaneringen. Carlsson medverkade i ramprogrammen ytors fysik och kemi och mikronik och ingick senare i den forskargrupp som under 1988–89 bistod STU och NFR i urvalet av materialkon-

²⁶⁴ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015; SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 11.

²⁶⁵ Uppgifter från SSF.

²⁶⁶ Telefonintervju med Rositza Yakimova den 27 oktober 2015.

²⁶⁷ Oxford research, *Evaluation of the Programme for Interdisciplinary Materials Research Consortia* (2002).

²⁶⁸ Uppgifter från SSF.

sortier. Berg var under 1980-talet knuten till STU som programansvarig för forskningsinsatserna på universitet och högskolor inom det nationella mikroelektronikprogrammet (NMP3).²⁶⁹ I Uppsala bedrevs inom mikroelektronikprogrammet forskning om bland annat kraftelektronik i samarbete med ABB.²⁷⁰

Forskning om tunnfilmerna intog en framträdande plats i materialkonsortieprogrammet. Förutom de renodlade tunnfilmkonsortierna i Uppsala och Linköping ingick det som en viktig komponent i minst tre av de övriga konsortierna. Detta speglade dels den strategiska betydelse som de finansierande myndigheterna tillmätte området, dels den svenska forskningens profilering med traditionerna inom ytfysik och de stora satsningar på instrumentering inom tunnfilmområdet som gjorts inom bland annat mikroelektronikprogrammet. För att åstadkomma en nationell samverkan inom tunnfilmforskningen och mellan konsortieförslagen fördes samtal med landets ledande forskargrupper. Involverade i samtalen var förutom Sören Berg och Jan-Otto Carlsson i Uppsala även Bo Monemar, Jan-Eric Sundgren och Hans Hentzell vid Linköpings universitet, Lars Samuelson vid Lunds universitet, Torwald Andersson på Chalmers, Dag Sigurd vid Institutet för Mikroelektronik (IM) i Stockholm och Sture Pettersson på KTH.²⁷¹

Inom den grundläggande processororienterade forskningen, som var huvudinriktningen hos Ångströmkonsortiet i Uppsala, var det framförallt med Linköping som det fanns behov av samordning. En naturlig profilering av forskargrupperna fanns att bygga på. Medan Linköping hade en kunskapsbas i MBE-teknik och PVD, bedrevs i Uppsala forskning mot sputtering (Sören Berg) och olika varianter av CVD-processer (Jan-Otto Carlsson). Det blev utgångspunkten för Ångströmgruppens förslag. Forskningens tonvikt skulle ligga vid metoder för framställning av tunna filmer i generisk mening, snarare än på specifika tillämpningar. Carlsson och Berg såg framför sig ett brett spektrum av tillämpningar och identifierade processer och framställningsmetoder som framtida kritiska problem:

Tunna materialskikt spänner över många tillämpningsområden. I en grov indelning av detta område kan vi dels tänka oss att skapa funktionella ytor för olika applikationer (slitage, korrosion, oxidation, friktion, termiska barriärer, biokompatibilitet m m) och dels funktionella komponenter, där i allmänhet flera skikt är kombinerade (mikroelektronik, sensorer, solceller, katalysatorer, optiska

²⁶⁹ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnfilmforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 26.

²⁷⁰ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015. Kolla upp intervju med Sören Berg.

²⁷¹ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnfilmforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 12–13.

komponenter, m m). Kombinationsmöjligheterna blir otaliga. Gränsen för de kombinationer vi kan utnyttja sätts emellertid i allmänhet av de möjligheter som finns att framställa och kombinera materialen. Dessa båda möjligheter är intimt förknippade med framställningsmetoderna, d v s utvecklingen inom den processrelaterade forskningen blir den begränsande teknikutvecklingsfaktorn. Med den exakthet den atomära manipulationen på materialytor kan tänkas ske blir behovet av grundläggande, processinriktad forskning synnerligen stort.²⁷²

Mer specifikt handlade det om forskning inom tre områden. Det första var tunnfilmsprocesser, vilket konkret innebar modellering, simulering och utveckling av atomära depositionsprocesser och *in situ* processdiagnostik. Det andra var kontroll av mellan-skikt, vilket innebar styrning av initiala depositionsförlopp i system där skiktmaterial och substrat var olika. Slutligen skulle forskning bedrivas runt framställning av metastabila faser, särskilt tunna diamantskikt.²⁷³

Forskningen om diamantskikt representerade den tillämpade delen av konsortiets verksamhet. Sören Berg och hans forskargrupp hade inlett forskning om diamantlika kolfilmer vid Uppsala universitet redan i slutet av 1970-talet, vilket var tidigt i ett internationellt perspektiv. Samarbeten fanns med forskargrupper bland annat i Japan och vid Pennsylvania State University i USA. Diamant har mycket låg friktionskoefficient, vilket tillsammans med nötningsmotståndet gör materialet intressant och attraktivt i tribologiska applikationer. Forskning om diamantdeponering bedrevs dessutom av Jan-Otto Carlssons forskargrupp runt de inblandade reaktionsmekanismerna och möjligheterna att stabilisera diamant. Carlsson studerade också alternativa material, bland annat kubisk bornitrid som i vissa tillämpningar hade bättre egenskaper än diamant.²⁷⁴

Inriktningen av konsortiet motsvarade till stor del intressena hos de tongivande forskarna, som representerade olika avdelningar och ämnesområden inom universitetet. Ett styrkeområde var den omfattande forskning om CVD-processer som under Jan-Otto Carlssons ledning bedrevs vid kemiska institutionen. I slutet av 1980-talet bestod forskargruppen av femton personer. Inriktningen var mot reaktionsmekanistisk och termodynamisk modellering, utveckling av deponeringssystem och processer samt metoder för selektiv deponering. Industrikontakter fanns inte minst med svensk stålindustri. Under 1970-talet hade Carlssons grupp byggt upp ett samarbete med

²⁷² Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnsfilmsforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 5.

²⁷³ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnsfilmsforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁷⁴ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnsfilmsforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

Sandvik AB runt metoder och processer för beläggning av verktyg i hårdmetall med titankarbid. Liksom Berg hade Carlsson utmärkta internationella kontakter, framförallt med forskningsgrupper i USA, vilket lyftes fram och betonades i förslaget:

Genom de internationellt uppmärksammade resultaten har gruppen fått inbjudningar till forskningssamarbeten med de bästa grupperna i världen. Av splittrings- och effektivitetsskäl har ansträngningar gjorts för att hålla antalet samarbeten lågt. F n samarbetar gruppen med University of Illinois at Urbana-Champaign ... Johannes Kepler-universitetet i Linz, Österrike ... IBM, Yorktown Heights... Samarbeten, som är under förhandling är med grupper vid Stanford University, The Pennsylvania State University, University of California, Berkeley. I Europa finns tyvärr endast ett fåtal grupper, som i ett forskningssamarbete skulle vara till ömsesidig stimulans. Europeisk industri är dock mycket intresserad av forskningen och uttryckt önskemål om samarbeten.²⁷⁵

En mindre grupp i materialoptik under ledning av docent Carl-Gustaf Ribbing, som sedan 1979 utgjorde en egen del inom avdelningen för fasta tillståndets fysik, ingick också i konsortiet.²⁷⁶ Sture Hogmark och Jan-Åke Schweiz representerade tribologin, som var det dominerande forskningsområdet vid avdelningen för materialvetenskap.²⁷⁷

Konsortiet kunde planera ett brett upplagt program tack vare den goda tillgången till modern utrustning för framställning och karakterisering av tunna filmer som fanns vid de samverkande avdelningarna vid Uppsala universitet. Under 1970- och 1980-talen hade en omfattande utrustningspark byggts upp. Forskargruppen i komponentfysik och tunnfilmsteknik vid elektronikavdelningen, under ledning av Sören Berg, hade ett välutrustat tunnfilmslaboratorium och ett mikroelektroniklaboratorium till sitt förfogande när konsortiet bildades. Inom materialkarakterisering kunde konsortiet stödja sig på Uppsala universitets starka forskning inom elektronspektroskopi och instrumentering.²⁷⁸

Sammantaget förfogade konsortiet över utrustning av internationell klass och utomordentlig bredd. Runt denna gemensamma teknisk infrastruktur formerades inte bara Ångströmkonsortiet. Den blev dessutom basen i Ångströmlaboratoriet som byggdes upp under 1990-talet. Ett gemensamt laboratorium för den materialvetenskapligt inriktade forskningen vid Uppsala universitet, med renrum, vibrationsfria

²⁷⁵ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnfilmforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁷⁶ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnfilmforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁷⁷ Intervju med Sture Hogmark den 14 september 2015.

²⁷⁸ Se beskrivning "Förslag till Konsortium – Tunnfilmforskning från Ångströmgruppen vid Uppsala universitet", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

lokaler och datorresurser hade planerats sedan 1980-talet. Diskussionerna tog fart på allvar efter beslutet att tilldela Uppsala universitet ett materialkonsortium om tunnfilmsteknik. Materialkonsortieprogrammets anslag till grupper vid Uppsala universitet ingick som en del i underlaget och bidrog till beslutet, men finansieringen var betydligt bredare och mer omfattande med bland annat Wallenbergstiftelserna som en viktig bidragsgivare. Carlsson och Berg var tillsammans med den materialvetenskapliga avdelningen vid Uppsala universitet drivande i tillkomsten. En första etapp av bygget, till en kostnad 550 miljoner kronor, stod klar 1996–97 med 37 000 kvadratmeter laboratorier, kontor och undervisningslokaler. En andra etapp tillkom med ytterligare 20 000 kvadratmeter för de fysiska institutionerna. Slutligen invigdes en tredje etapp 2006 med nya lokaler för främst solenergiforskningen. Sammantaget kostade byggnationen drygt en miljard kronor.²⁷⁹

Den ursprungliga breda forskningsansatsen som skisserats i konsortieförslaget fokuserades och koncentrerades betydligt i början av 1990-talet, precis som skedde inom tunnfilmskonsortiet i Linköping. Samtidigt tillkom en forskargrupp under ledning av Claes Göran Granqvist, som flyttade från Chalmers till Uppsala universitet 1993. En viktig del av forskningen inom konsortiet handlade om utveckling och verifiering av datorsimuleringsprogram för sputtrings- och CVD-processer, som bland annat syftade till att minska behovet av praktiska experiment. En annan stor del av forskningen handlade om att finna nya metoder och principer för att öka beläggningshastigheten – bland annat utvecklades en reaktiv sputtringsprocess för höghastighetsdeponering av ytbeläggningar i samarbete med Ericsson Components AB.²⁸⁰ Arbetet med diamantbeläggningar var ett viktigt tillämpningsområde, men det resulterade inte i de applikationer man initialt hade hoppats. Istället hamnade en stor del av den tribologiska tunnfilmsverksamheten i Linköping, som genomförde en omprofilering av konsortiets verksamhet mot det området under 1991–92.

Metalloxidiska ytstrukturer

Forskning om tunnfilmer och tunna keramiska strukturer var temat för ett femte, brett upplagt konsortium, som samlade elva forskargrupper vid sju olika universitet och högskolor, med en vetenskaplig bas i den materialfysiska avdelningen vid KTH i Stockholm.²⁸¹ Inriktningen skilde sig i viktiga avseenden från den tunnfilmsforskning som bedrevs vid universiteten i Lund, Linköping och Uppsala och vid Chalmers i Göteborg. Mikroelektronikprogrammets stöd till grundläggande material- och processforskning hade under 1980-talet huvudsakligen gått till dessa fyra universitet,

²⁷⁹ Intervju med Sören Berg och Jan-Otto Carlsson den 22 september 2015.

²⁸⁰ SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 6.

²⁸¹ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*, s. 20.

som inom ramen för programmet kunna göra stora utrustningsinvesteringar. Forskningen vid KTH inom mikroelektronikprogrammet var istället till stor del inriktad mot komponentteknologi i anslutning till industriella satsningar, vilket skapade andra förutsättning och gav ett annat utgångsläge när materialkonsortieprogrammet inleddes.²⁸²

Detta präglade konsortiets organisation och struktur, både vad gäller medverkande forskargrupper och utrustningsbehov. Medan de andra stora universiteten, framförallt Linköping, Lund och Uppsala, hade kunnat bygga konsortier runt sammanhållna forskargrupper med bas i renrum och laboratorier, sökte KTH ett bredare samarbete med forskargrupper vid flera andra universitet. Sammanhållande och den gemensamma kärnan i konsortiet skulle vara investeringar i ny avancerad teknik, framförallt en ”supersyntesmaskin”, placerad vid KTH, med vilken godtyckliga metalloxidstrukturer skulle kunna framställas.²⁸³ Mot denna bakgrund blev konsortiet den enskilt största mottagaren av utrustningsstöd inom materialkonsortieprogrammet.²⁸⁴ Initiativtagare till konsortiet var Anders Flodström, som ledde den materialfysiska forskningen vid KTH. Flodström ledde och koordinerade synkrotronljusforskningen i Lund fram till dess han 1985 fick en professur i materialfysik vid KTH. Materialfysiken vid KTH, som den utvecklades under Flodström, hade en tyngdpunkt i elektronspektroskopisk forskning samtidigt som en tunnfilmsverksamhet byggdes ut med inriktning mot tillämpningar inom bland annat katalys. Materialkonsortiet skulle med gemensamma utgångspunkter bedriva forskning om keramer och keramytor mot industriella tillämpningar inom korrosionsskydd och katalys. I det ursprungliga förslaget till konsortium från maj 1989 nämndes korrosionsskydd i petrokemiska reaktorer, flygplansvingar, bilavgasrening och kapacitans hos elektrolytkondensatorer som industriella tillämpningsområden.²⁸⁵ Forskargrupper från Chalmers under ledning av Jan-Erik Otterstedt och Ingemar Olefjord kompletterade med kompetens inom katalys respektive tillämpad ytfysik och korrosion. I konsortiet ingick även korrosionsspecialisten Christofer Leygraf från KTH och Korrosionsforskningsinstitutet. Otterstedt, Olefjord och Leygraf hade samtliga deltagit med projekt inom ramprogrammet ytors fysik och kemi i början av 1980-talet. Medverkade gjorde även keramforskaren David Rowcliffe vid KTH, som bistod med frågor om mekanisk provning av tunna keramskikt. Mindre delar av projektet utfördes dessutom av forskare vid Stockholms universitet, Linköpings universitet, Luleå tekniska

²⁸² Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

²⁸³ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*, s. 20.

²⁸⁴ Under budgetåren 1990/91 och 1991/92 beviljades sammanlagt fyra miljoner kronor i utrustningsstöd av FRN. Oxford research, *Evaluation of the Programme for Interdisciplinary Materials Research Consortia*, s. 53.

²⁸⁵ Se beskrivning av materialtekniskt konsortium ”Metalloxidiska ytstrukturer: Yt och Tunnfilmsegenskaper hos Keramiska överlager: Korrosionsskydd, katalys och vidhäftning”, i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989), s. 1.

högskola och Umeå universitet. I Uppsala togs kontakter med Jan-Otto Carlssons forskargrupp, som bistod med kompetens inom CVD-processer.²⁸⁶

Den breda inriktningen visade sig emellertid vara en svaghet. I de internationella utvärderingarna 1991 och 1992 konstaterades att konsortiet endast finansierade en mindre del av aktiviteterna inom de medverkande forskargrupperna och att samarbetet grupperna emellan var outvecklat.²⁸⁷ Konsortiet beviljades inte fortsatt finansiering under en andra femårsperiod utan avvecklades vid brytpunkten 1995.²⁸⁸ Flodström utnämndes 1992 till prorektor vid KTH, kort efter att konsortiet inlett sin verksamhet, och utnämndes sedan till rektor för Linköpings universitet 1996. Senare återvände Flodström till KTH som rektor 1999 och utnämndes 2007 till universitetskansler. Tillsammans med Jan-Eric Sundgren, som samtidigt var verksam som rektor för Chalmers, är han det kanske tydligaste exemplet på tongivande svenska materialvetere som gått vidare till ledande positioner inom universitetssystemet. Materialfysiken vid KTH har sedan 1990-talet utvecklats vidare med inte minst spektroskopi och synkrotronljusforskning som en viktig inriktning.

Kluster och ultrafina partiklar

Ett annat brett organiserat konsortium, med samarbetande grupper vid Uppsala universitet, Chalmers i Göteborg och i Stockholm vid universitet och KTH, var kluster och ultrafina partiklar. Det hade inte tillkommit på forskarnas initiativ utan bestod av en sammanslagning av separata förslag från forskargrupper vid framförallt Chalmers och Uppsala universitet, som av STU och NFR uppmanats att bygga ett samarbete. Inriktningen var mot att syntetisera, studera och karakterisera kluster och ultrafina partiklar, det vill säga små grupper av atomer och molekyler:

Ultrafina partiklar som består av 2-100 atomer kallas för atomära kluster. Studier av sådana kluster är viktiga för förståelsen av övergången från atomära och molekyllära egenskaper till bulkegenskaper hos material. Den snabba utvecklingen inom experimentell teknik och på teorisidan (inte minst tillgång till superdatorer) har gjort det möjligt att ingående jämföra materialens elektronstruktur och fysikaliska egenskaper med teoretiska förutsägelser. Det är således möjligt att undersöka den

²⁸⁶ Se beskrivning av materialtekniskt konsortium ”Metalloxidiska ytstrukturer: Yt och Tunnfilmsegenskaper hos Keramiska överlager: Korrosionsskydd, katalys och vidhäftning”, i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁸⁷ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*, s. 20–21.

²⁸⁸ Oxford research, *Evaluation of the Programme for Interdisciplinary Materials Research Consortia*.

*successiva uppbyggnaden av material från enstaka atomer, tvåatomiga och treatomiga molekyler till kluster med bulkegenskaper och ultrafina partiklar.*²⁸⁹

Industriella tillämpningar av forskningsresultaten kunde finnas inom flera vitt skilda industrigrenar, som pulvermetallurgi, hårdmetallteknologi, läkemedelsindustri och inom katalysområdet, men inriktningen hos konsortiets forskning var tydligt mot det grundläggande området.²⁹⁰ Forskningen speglade intressena hos de tre tongivande forskarna i konsortiets styrelse, som bestod av fysikerna Nils Mårtensson vid Uppsala universitet och Arne Rosen vid Chalmers och Mamoun Muhammed vid avdelningen för materialkemi på KTH. Ett viktigt forskningsområde vid Chalmers som fick stort utrymme i det ursprungliga förslaget var fullerener, en ny sorts kolmolekyl bestående av 60 atomer, arrangerade i samma struktur som en fotboll, och som upptäckts i laboratorieexperiment 1985. Mårtensson, som ledde konsortiet, hade sin vetenskapliga bas i den elektron-spektroskopiska forskningen vid Uppsala universitet, som kunde användas bland annat för experimentell undersökning av elektronstruktur hos kluster och partiklar. Ett område som starkt betonades i anslutning till den experimentella karakteriseringen var teorin – vid både Uppsala universitet och Stockholms universitet skulle förstaprinclpsberäkningar mot klustrens och partiklarnas elektronstruktur genomföras. Mamoun Muhammed var materialkemist, med erfarenhet av kemisk syntes av nanopartiklar.²⁹¹

Det samarbete mellan grupperna som programkommittén hoppats åstadkomma genom att uppmontra till konsortiet materialiserades inte. I den internationella utvärderingen 1992 konstaterades att forskningen uppvisade hög internationell klass, men att det till stor del handlade om separata aktiviteter vid de tre medverkande universiteterna. Behovet av en fokusering av forskningen och ett val av inriktning betonades.²⁹² Resultatet blev en omstrukturering och uppdelning av konsortiet. Forskargruppen vid Chalmers under ledning av Arne Rosén, med inriktning mot forskning om fullerener, kopplades loss och fick separat finansiering.²⁹³ Forskningen inom konsortiet koncentrerades till stor del till Uppsala universitet, där den kom att ingå i den forskningsinriktning mot energirelaterade material som byggdes upp under 1990-talet. Ett viktigt forskningsområde blev nanostrukturerade elektroder, som används för omvandling av ljus till elektrisk energi i solceller. Anders Hagfeldt, som ledde forskningen om Grätzelsolceller

²⁸⁹ Se beskrivning "Konsortium för kluster och ultrafina partiklar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁹⁰ Bland de medverkande företagen fanns: Kanthal Höganäs, ABB Powdermet AB, Sandvik Coromant, EKA Nobel.

²⁹¹ Se beskrivning "Konsortium för kluster och ultrafina partiklar", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

²⁹² Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1992*, s. 22–24.

²⁹³ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1995*, s. 21.

vid Uppsala universitet, tog plats i konsortiets ledning. Ett samarbete etablerades mellan klusterkonsortiet och Ångström Solar Center inom ramen för Ångströmlaboratoriet, som invigdes i sina första delar i slutet av 1990-talet.²⁹⁴ Nils Mårtensson efterträdde 1997 Ingolf Lindau som föreståndare för det nationella synkrotronljuslaboratoriet MAX-lab i Lund.

Biomaterial

Biokompatibla material och forskning om material för medicinska implantat var föremål för flera insatser och forskningsprogram under 1980-talet. STU inledde ett ramprogram för biokompatibla material med start sommaren 1987. Satsningen var i sin tur sprungen ur ramprogrammet ytors fysik och kemi, inom vilken en speciell insats mot forskning om nya sorters biokompatibla ytor hade initierats hösten 1981.²⁹⁵ Forskargrupper i Göteborg och vid Linköpings universitet var drivande och ledde den svenska forskningen inom området. En gemensam utgångspunkt för den svenska forskningen om avancerade biokompatibla material var enligt Hans Weinberger, som har studerat ramprogrammet, läkaren Per-Ingvar Brånemarks framgångsrika användande av titan för att förankra metallfixturer i benvävnad. Brånemark var verksam vid Göteborgs universitet och det privata Institutet för tillämpad bioteknologi, som byggts upp runt hans metod för att titanförankra tandbryggor i käkben. Inom institutet bedrevs dessutom en bredare verksamhet om proteser och kroppsimplantat, med materialproblem som en viktig komponent.²⁹⁶ En stor del av materialforskarnas intresse riktades mot egenskaperna hos titan och titanoxid, som accepterades av kroppens vävnader utan att stötas bort. Det gjorde materialet intressant att studera ur ytfysisk synvinkel. I Linköping studerade en forskargrupp under ledning av Ingemar Lundström ”strukturen och egenskaperna hos genom förångning pålagda titanskikt”.²⁹⁷ Möjligheten att hitta billigare och mekaniskt mer lämpade implantatmaterial gjorde enligt Weinberger beläggning av rostfritt stål till ett viktigt delområde. I arbetet medverkade Jan-Eric Sundgren som specialist på ytbeläggningsmetoder.²⁹⁸ En annan forskargrupp vid fysiska institutionen på Chalmers i Göteborg under ledning av Bengt Kasemo studerade biomaterial ur ytfysisk synvinkel. Samarbetet mellan Brånemark och Kasemo hade inletts i början av 1980-talet och rörde bland annat frågor om vad som händer i gränslandet mellan i kroppen implanterade material och levande vävnad.²⁹⁹

Lundströms och Kasemos forskargrupper medverkade i 1980-talets ramprogram för biokompatibla material, men utan att samarbeta direkt med varandra. De inkom med

²⁹⁴ SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 16.

²⁹⁵ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457.

²⁹⁶ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457.

²⁹⁷ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457.

²⁹⁸ Weinberger, *Nätverksentreprenören*, s. 457–459.

²⁹⁹ Intervju med Bengt Kasemo den 6 oktober 2015.

separata förslag när materialkonsortieprogrammet planerades under 1988–89.³⁰⁰ Förslagen ingick båda i den grupp om tjugo förslag som slutgranskades. Lundström och Kasemo valde att skriva ihop dem till ett gemensamt förslag, som beviljades finansiering inom programmet.³⁰¹ Konsortiet fick en bred inriktning, som motsvarade deras samlade forskning inom biomaterialområdet. Förutom rena biomaterial bedrev Lundström annan forskning om biologiska ytfenomen, som bland annat rörde koagulation av blod. Ett annat område var biosensorer kopplade till medicinsk diagnostik. Pharmacia bildade under 1980-talet ett dotterbolag, Pharmacia Biosensor, baserat på en diagnostisk metod utvecklad av Lundström och hans forskargrupp. En gemensam samarbetspartner fanns sedan tidigare i anatomiska institutionen vid Sahlgrenska universitetssjukhuset i Göteborg som bidrog med medicinska aspekter vid undersökningar av biomaterial.³⁰²

Forskningen inom biomaterialkonsortiet ingick i ett bredare sammanhang. Stora resurser satsades fortsatt på området under 1990-talet genom flera olika kanaler. Inte minst kom ett betydande tillskott tidigt genom medel ur löntagarfonderna när de avvecklades. Bengt Kasemo genomförde i anslutning till diskussionen om fondmedlens användning en utredning om biomaterialforskning, som resulterade i att ett nytt program om biomaterial bildades 1996 med finansiering genom den nybildade strategiska forskningsstiftelsen. Forskningens inriktning mot benförankrade implantat, tribologiska aspekter hos artificiella leder och blodkompatibilitet hos biomaterial knöt direkt an till konsortiets verksamhet. Programmets tyngdpunkt var Göteborg och Chalmers, men medverkade gjorde även Linköpings universitet, Uppsala universitet och Statens provnings- och forskningsinstitut (SP) i Borås. Till programmet kopplades en materialvetenskaplig forskarskola.³⁰³

Flera nya forskningsinriktningar har sprungit ur Kasemos och Lundströms verksamheter, som bidragit till att starkt forma forskningen inom tillämpad fysik vid Chalmers och Linköpings universitet. Sensorforskningen har varit en viktig utvecklingslinje i Linköping. Forskningen ingick som en del i biomaterialkonsortiet, men blev dessutom föremål för en separat satsning inom kompetenscentrumet S-SENCE (Swedish Sensor Centre) som bildades med finansiering genom Nutek och industrin och som mellan 1995 och 2005 samlade sensorforskningen i Linköping. Forskning om biosensorer, med tillämpningar inom medicinsk industri och livsmedelsindustri, har varit en viktig forskningsgren även vid Chalmers. De stora forskargrupper som Kasemo och

³⁰⁰ Bengt Kasemo och Ingemar Lundström, "Plan för biomaterialkonsortium", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

³⁰¹ Intervju med Ingela Agrell den 1 oktober 2015.

³⁰² Bengt Kasemo och Ingemar Lundström, "Plan för biomaterialkonsortium", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

³⁰³ Uppgifter från SSF. Intervju med Bengt Kasemo den 6 oktober 2015.

Lundström byggde upp runt sig har omorganiserats och delats upp i mindre avdelningar, med inriktning motsvarande forskningens olika delområden.

Teoribaserade expertsystem för materialutformning

Förslaget om ett konsortium inom teoretisk och datorstödd materialfysik kom från tre samverkande forskargrupper i Göteborg, Stockholm och Uppsala under ledning av Bengt Lundqvist, Börje Johansson och Göran Grimvall.³⁰⁴ Inriktningen hos konsortiet var teoretisk modellering, ett område som alla tre forskargrupperna arbetade med men ur delvis olika perspektiv. En verksamhet inom teoretisk materialfysik med inriktning mot ytor hade inletts under Stig Lundqvist på institutionen för teoretisk fysik vid Chalmers under 1960-talet. Bengt Lundqvist utvecklade forskningen om ytfenomen och ytprocesser under 1970- och 1980-talen i nära samarbete med experimentella fysiker. Projekt drevs bland annat tillsammans med Stig Andersson och Bengt Kasemo.³⁰⁵ Börje Johansson hade byggt upp en forskargrupp vid Uppsala universitet med en delvis annan inriktning, mot fenomen som magnetism. Johansson hade en bakgrund vid FOA och hade varit verksam i Schweiz och i Danmark innan han 1986 fick en professur som förlades till Uppsala universitet.³⁰⁶ Konsortiets tredje huvudman, Göran Grimvall, var också elev till Stig Lundqvist men med eget nätverk och hade under 1970-talet varit verksam vid Chalmers innan han flyttade till KTH.

Trots en teoretisk inriktning var konsortiets målsättning konkreta och praktiska tillämpningar. Syftet var att utveckla datorbaserade verktyg som möjliggjorde simulering och modellering av egenskaper och struktur hos verkliga material, med inriktning mot material och materialsammansättningar som inte enkelt kunde studeras med experimentella metoder. Målet var en snabbare och mer rationellt materialutveckling med grund i de fundamentala kvantfysiska lagar som styr relationerna mellan atomer och molekyler.³⁰⁷ Grunden var beräkningar av materialens elektronstruktur. Teorierna inom området, framförallt täthetsfunktionalteorin (Density Functional Theory, DFT), som Lundqvist, Johansson och Grimvall byggde sin forskning på, hade utvecklats i sina grunder redan under 1960-talet. Men det inledande arbetet hade gjorts på enkla system under idealiserade förhållanden, med begränsad relevans för praktisk materialvetenskap. Under 1980-talet hade det skett en snabb utveckling, dels tekniskt

³⁰⁴ Se beskrivning "Förslag till konsortiebildning på det materialtekniska området: Teoribaserade expertsystem för materialutformning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

³⁰⁵ Intervju med Bengt Lundqvist den 28 oktober 2015.

³⁰⁶ Intervju med Börje Johansson.

³⁰⁷ Se beskrivning "Förslag till konsortiebildning på det materialtekniska området: Teoribaserade expertsystem för materialutformning", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

med snabbare datorer, dels teoretiskt med förfinade modeller och kraftfullare algoritmer, som gjorde det möjligt att uppnå praktiska resultat på alltmer komplexa och tekniskt realistiska material.³⁰⁸

Detta blev grunden i konsortiets arbete. Modellerna som utvecklades skulle vara generiska och möjliggöra studium av ett brett spektrum av materialproblem:

När det gäller förståelsen av materialegenskaper har det sedan länge stått klart att den måste grundas på elektronstrukturella begrepp, men först under senare år har den teoretiska beskrivningen nått en sådan precision att den kunnat bli av direkt praktisk betydelse. Genom att den tillgängliga datorkraften ökar och att samtidigt approximativa men likväl tillförlitliga interatomära potentialer utvecklas, har det blivit möjligt att beskriva det kollektiva uppförandet hos tiotusentals atomer, så att relativt komplexa processer såsom dislokationsdynamik, MBE-tillväxt och smältning kan simuleras.³⁰⁹

Eftersom det i allt väsentligt saknades tidigare forskning blev metoden att arbeta med tydligt avgränsade områden och problem. Man skulle börja med enkla system och röra sig i riktning mot alltmer komplicerade material och problemställningar:

Konsortieprogrammets syfte är att ta fram en samlad och datorstödd syn på materialegenskaper (ett "expertsystem") baserad på begrepp och modeller från modern materiefysik. Det innebär både att nya teoretiska beskrivningar utvecklas och att existerande metoder tillämpas. Med en sådan kunskap skall det vara möjligt att identifiera intressanta nya materialsammansättningar och att extrapolera idag kända materials egenskaper till extrema situationer eller till situationer där viktiga experimentella data saknas. Eftersom sådana system ännu inte finns utvecklade på andra håll i världen (men några planeras) kommer konsortieprojektet att få en pionjärkaraktär. Det bör därför inledningsvis begränsas till vissa materialtyper (endast oorganiska system) och egenskaper (bland annat termodynamiska, magnetiska, elektriska, optiska, transportegenskaper, fasstabilitet, hårdhet och reaktionsbenägenhet).³¹⁰

En del av teorikonsortiets uppdrag, som det formulerades inom programmet, var att lyfta den teoretiska kompetensen inom övriga konsortier. Samarbeten bedrevs med flera konsortier. Med tunnfilmkonsortierna (Uppsala och Linköping) runt hårdhet,

³⁰⁸ Intervju med Börje Johansson; Intervju med Bengt Lundqvist den 28 oktober 2015.

³⁰⁹ Se beskrivning "Förslag till konsortiebildning på det materialtekniska området: Teoribaserade expertsystem för materialutförning", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

³¹⁰ Se beskrivning "Förslag till konsortiebildning på det materialtekniska området: Teoribaserade expertsystem för materialutförning", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

materialstyrka och mekaniska egenskaper hos metaller, karbider och nitrider. Med konsortierna om biomaterial och polymera system skedde ett samarbete runt materialteoretiska beräkningar på de svagare van der Waals-bindningar som kännetecknar polymera system. En viktig del av Lundqvists forskning bestod av en utveckling av täthetsfunktionalteorin i denna riktning, mot modellering och simulering av mjuka material.³¹¹ Senare, under 2000-talet, blev forskning om ”mjuka material” föremål för centrumbildningar och en viktig komponent i Chalmers strategiska forskningsområde inom materialvetenskap. Samarbeten fanns även med kluster och ultrafina partiklar och nanometerstrukturer. Börje Johansson samarbetade och bistod konsortiet om datorstödd process- och materialutveckling (CAMPADA) vid KTH med underlag. Samarbetet utvecklades ytterligare genom att Johansson omkring 2000 blev gästprofessor vid KTH och flyttade med delar av sin verksamhet och forskargrupp till materialvetenskapliga institutionen. Slutligen fanns också kontakter med supraledningskonsortiet inom teoribildning om tunnlingsfenomen.³¹² Internationellt fanns dessutom välutvecklade kontakter. Ett exempel är Bengt Lundqvists samarbete med David Langreth vid Rutgers University i USA. Samarbetet var inriktat mot utvecklingen av funktionaler för gles materia och resulterade bland annat i samverkande forskarutbildningsprogram vid Rutgers och Chalmers.³¹³

Under 1990-talet skedde en fortsatt snabb utveckling av den materialteoretiska forskningen. Grupperna inom konsortiet var stora användare av det nationella superdatorcentrum (SNC) som byggdes upp vid Linköpings universitet under 1990-talet, där fysiska materialberäkningar blev ett av de områden som upptog mest datortid och -kapacitet.³¹⁴ Internationellt gick trenden i samma riktning, mot att integrera teoretiskt baserad modellering och simulering i bredare sammansatta materialforskningsgrupper. Inte minst Johanssons forskargrupp vid Uppsala universitet utvidgades kraftigt och bidrog till spridningen av den teoretiska materialforskningen till andra universitet, bland annat KTH och Linköpings universitet där Igor Abrikosov blev professor 2004 och där Karl-Fredrik Berggren sedan tidigare bedrev teoretiskt inriktad materialfysisk forskning.³¹⁵ Under 2000-talet integrerade Abrikosov och Valeriu Cherita molekylodynamiksimuleringar och kvantmekaniska beräkningar med experiment inom tunnfilmforskningen vid Linköpings universitet.³¹⁶ Forskningsinriktningen hörde till de delar av materialkonsortieprogrammet som strategiska forskningsstiftelsen fortsatt stödde efter att det ursprungliga programmet avslutats sommaren 2000. Rambidrag inom materialvetenskap gick till forskargrupperna vid Uppsala och Chalmers genom

³¹¹ Intervju med Bengt Lundqvist den 28 oktober 2015.

³¹² SSF, *Tvårvetenskapliga materialkonsortier*, s. 19–21.

³¹³ Uppgifter från Bengt Lundqvist.

³¹⁴ Intervju med Börje Johansson.

³¹⁵ Intervju med Börje Johansson.

³¹⁶ Uppgifter från Lars Hultman.

Olle Eriksson och Göran Wahnström, individuella anslag till Börje Johansson och Igor Abrikosov.³¹⁷

Datorstödd material- och processutveckling

Urvalsgruppens ställningstagande till förslagen på materialkonsortier grundades till stor del på forskargruppernas tidigare meriter – de elva konsortier som beviljades finansiering gick i de flesta fall till de mest meriterade materialvetenskapliga forskarna och forskargrupperna inom sina respektive områden. En av dessa var den gruppering som utvecklats runt professor Mats Hillert vid institutionen för metallografi på KTH. Liksom flera andra svenska materialvetenskapliga grupper var forskningen influerad av och utvecklad i nära kontakt med ledande amerikansk forskning, men den skilde ut sig genom att den inte kom ur fysiken, utan hade sina vetenskapliga rötter i metallurgin. I förhållande till de fysikinriktade materialkonsortier som diskuterats hittills representerade den en annan gren av den moderna materialvetenskapen. Inriktningen var unik i det svenska forskningssystemet, motsvarande forskningsmiljöer fanns framförallt internationellt. Forskningen, som den utvecklats under 1970- och 1980-talen, var till stor del fokuserad på att med teoretisk modellering förutsäga hur strukturen hos metalliska material förändras vid framställning, värmebehandling och användning.³¹⁸

Datorstödd modellering spelade en viktig roll. Hillert hade i samarbete med ledande amerikanska forskningsmiljöer, universitet och privata konsultbolag, bidragit till utvecklingen av en modell, Computer Calculation of Phase Diagrams (CALPHAD), som kunde användas för att representera de termodynamiska egenskaperna hos metaller och legeringar och för beräkning av fäsjämvikter vid stelning och värmebehandling. Styrkan hos metoden var att man med ganska enkla modeller kunde behandla komplicerad information om metaller och legeringars fasövergångar. Intresse fanns från industrins sida runt datorsimuleringar för att lösa materialutvecklingsproblem och forskningen växte under 1970- och 1980-talen fram i nära kontakt med svensk stål- och metallindustri. Medan de tidiga modellerna var inriktade mot specifika problem och legeringar, inledde doktoranderna Bo Sundman, John Ågren och Bo Jansson under 1970-talet tillsammans utvecklingen av mer generella program, vilket mynnade ut i mjukvaran Thermo-Calc som lanserades 1983 och fick bred industriell spridning. Under 1980-talet fortsatte utvecklingen av mer avancerad mjukvara. En svaghet var att Thermo-Calc saknade tidsmoment, vilket ledde till den kompletterande mjukvaran DICTRA, utvecklad av John Ågren för simulering av diffusionsprocesser som stelningsförlopp och värmebehandling vid metallframställning.³¹⁹

³¹⁷ Uppgifter från SSF.

³¹⁸ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

³¹⁹ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

Arbetet med mjukvarorna och tillhörande databaser blev grunden i ett material-konsortium, Datorstödd material- och processutveckling (CAMPADA), som organiserades runt den metallurgiska och metallografiska forskningen vid KTH, med Mats Hillerts forskargrupp som vetenskaplig tyngdpunkt. I konsortiets referensgrupp (som utsåg styrelseledamöter) ingick vid bildandet 1989 förutom Mats Hillert, Bo Sundman och John Ågren representanter för institutionerna för metallernas gjutning, teoretisk metallurgi och tillämpad processmetallurgi. Medverkade gjorde även Bo Björkman från Luleå tekniska högskola och institutionen för metallurgi, som hade bildats genom en delning av KTH:s sektion för bergsvetenskap 1972 i samband med att den tekniska högskolan i Luleå bildades.³²⁰ I referensgruppen ingick även Jan-Otto Carlsson från oorganisk kemi på Uppsala universitet, som liksom metallurigin vid KTH har starka band till svensk stålindustri. Bo Jansson, med en bakgrund i Mats Hillerts forskargrupp, representerade Institutet för metallforskning (IM). Dessutom ingick i referensgruppen industrirepresentanter för Sandvik AB, Höganäs AB, Ovako Steel AB i Hällefors, ABB Corporate Research, Sandviken Coromant AB och Boliden Mineral, med intressen i mjukvaruutvecklingen och databaserna som skulle byggas upp inom konsortiet. Internationellt samarbetade konsortiet dels med amerikanska universitet, framförallt Northwestern University i Chicago med vilket KTH hade ett materialvetenskapligt doktorandutbyte. Dels inom ramen för det europeiska SGTE-nätverket, finansierat av dåvarande EG men som KTH kunde medverka i genom sina vetenskapliga kvalifikationer. Ågren och Sundman hade dessutom goda kontakter med tyska universitet.³²¹

Syftet med konsortiet var att vidareutveckla de datorstödda modeller för utveckling av material och processer för framställning av material som utvecklats under 1980-talet, med bas i de termokemiska databaser som byggts upp:

Den första arbetsuppgiften kommer att bli att samla, kritiskt granska och utvärdera termokemisk data för ett stort antal system av intresse för industrin. Dessa skall sedan lagras på ett konsistent sätt i en termokemisk databas. Den termokemiska informationen beskriver jämviktstillståndet i ett system och för att studera processer med mer eller mindre stor avvikelser från jämvikten krävs även att konsortiet bygger upp en databas med kinetiska data som beskriver diffusiviteter och överföringstal för värme och massa.³²²

³²⁰ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

³²¹ Intervju med John Ågren den 14 september 2015; "Ansökan om konsortiebildning inom området Datorstödd material- och processutveckling", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information, 748-1989 (Stockholm, 1989).

³²² Se beskrivning "Ansökan om konsortiebildning inom området Datorstödd material- och processutveckling", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information, 748-1989 (Stockholm, 1989).

Databaserna skulle sedan utnyttjas i simuleringsmjukvara som utvecklats vid KTH:

Informationen i de termokemiska och kinetiska databaserna skall sedan användas i simuleringsprogram som på ett enhetligt sätt skall kunna beskriva de viktigaste förloppen som används i industrin för att producera material och modifiera deras egenskaper genom värmebehandlingar. I stor utsträckning kommer konsortiet att använda existerande programvara för simuleringarna efter modifiering som kan bli nödvändig för att användas tillsammans med de generella databaserna.³²³

Konsortiets verksamhet bedrevs efter dessa linjer. Under 1997 bildades företaget Thermo-Calc AB mot bakgrund av internationell industriell efterfrågan på termodynamisk simuleringsmjukvara och databaser. Företaget marknadsför framförallt de två programvarorna Thermo-Calc och DICTRA, som idag är bland de mest spridda mjukvarusystemen för den här sortens tillämpningar i industrin.³²⁴ I sin sammanfattning av verksamheten inom CAMPADA konstaterade strategiska forskningsstiftelsen 1998 att tillskotten till den termokemiska databasen sannolikt var det viktigaste resultatet av konsortiet på sikt. Databasen hade byggts ut med termodynamisk information om ett antal specifika material: stål som innehåller kol och legeringsmetaller i olika halter, hårdmetaller baserade på kol, kobolt och wolfram med tillsatser, keramer med aluminium, järn, kisel och magnesium samt vattenlösningar med låga halter av bland annat järn kol, krom, klor, nickel och svavel. Inom ett delprojekt som bedrevs tillsammans med Sandvik Coromant och SECO Tools byggdes en databas upp med termodynamisk information för hårdmetall, med underlag för ämnen som kobolt, wolfram, titan och tantan.³²⁵

Ett samarbete inleddes med teorikonsortiet och Börje Johanssons grupp i Uppsala. Intresset i elektronstrukturberäkningar uppstod mot bakgrund av svårigheterna att genomföra praktiska experiment inom vissa områden. Teoretiska elektronstrukturberäkningar kan då utgöra underlag till mjukvaran på samma sätt som information i databaser.³²⁶ Samarbetet fördjupades efter att Johansson flyttat med delar av sin forskargrupp från Uppsala universitet till materialvetenskapliga institutionen vid KTH. Delvis skedde detta som ett resultat av samarbetet materialkonsortier emellan. Flera forskare från Johanssons grupp har integrerats i simuleringsverksamheten vid KTH.³²⁷

I likhet med Lars Hultmans grupp vid Linköpings universitet, som även den har tydliga industrikontakter, har finansieringen inom materialkonsortiet följts upp med stora anslag

³²³ Se beskrivning "Ansökan om konsortiebildning inom området Datorstödd material- och processutveckling", i *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information, 748-1989 (Stockholm, 1989).

³²⁴ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

³²⁵ SSF, *Tvärvetenskapliga materialkonsortier*, s. 22–23.

³²⁶ Intervju med Börje Johansson; Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

³²⁷ Intervju med Börje Johansson.

från mitten av 1990-talet i de centrumbildningar som tagit vid efter konsortieprogrammet.

Gränsskiktsinteraktioner i polymera system

I programmet ingick också ett materialkonsortium inriktat mot polymerteknologi och polymera material. Konsortiet var en sammanslutning av flera institutioner vid Chalmers i Göteborg och Lunds universitet. Det leddes av docent Thomas Hjertberg vid institutionen för polymera material vid CTH. Medverkade gjorde även polymercentrum vid Lunds universitet, med Björn Lindman som ledande forskare. I ledningsgruppen ingick Bertil Törnell, chef för polymercentrum i Lund, samt professor Josef Kubát och professor Per Flodin vid institutionerna för polymera material och polymerteknologi på Chalmers. Konsortiet skulle bedriva en brett upplagd forskning inom båda delområdena, med tonvikt på gränsskiktsinteraktioner i polymera system.³²⁸

Samarbetet mellan Chalmers och Lunds universitet ska ses mot bakgrund av en internationell utvärdering av svensk polymerforskning, som genomfördes på uppdrag av STU under vintern 1988–89, samtidigt som materialkonsortieprogrammet planerades.³²⁹ Polymera material och polymerteknologi var materialvetenskapliga områden som mottagit ett omfattande stöd genom STU under 1970- och 1980-talen. Den internationella utvärderingen skulle utvärdera den svenska forskningen inom området, men framförallt undersöka hur den svenska polymerforskningen kunde svara mot industriella behov under 1990-talet. Ett delområde på stark frammarsch internationellt under 1980-talet var kompositmaterial och lättviktsmaterial. Militärt var detta en gren av materialvetenskapen som tilldrog sig stort intresse mot bakgrund av den militärteknologiska utvecklingen, där metalliska material under 1990-talet snabbt och i stora skala skulle komma att ersättas av kompositmaterial i flygsystem och marina system. Inte minst personalbehovet var stort. Flygtekniska försöksanstalten (FFA) och materialavdelningen vid FOA, som besöktes av utredningen, uppskattade att de militära laboratorierna sammanlagda behov av nyrekryteringar fram till mitten av 1990-talet skulle motsvara den samlade utbildningen av ingenjörer inom området vid svenska universitet.³³⁰ Forskningsverksamhet inom området bedrevs vid Linköpings universitet och KTH i Stockholm. Ett forskningsinstitut, SICOMP (Swedish Institute of Composites), inom materialområdet polymera fiberkompositer hade bildats 1988 med finansiering genom Nutek. Institutet var lokaliserat till Piteå och samarbetade nära med

³²⁸ Se "Gränsskiktsinteraktioner i polymera system: Förslag till konsortiebildning", i *Tvårvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).

³²⁹ Göran Friberg och Kjell Lindman, *Report of the International Evaluation Committee on Swedish Polymer Research and Technology* (Stockholm, 1989). Ann-Christine Albertssons privata arkiv.

³³⁰ Friberg och Lindman, *Report of the International Evaluation Committee on Swedish Polymer Research and Technology*, s. 14.

ABB inom utvecklingen av isolatorer. Senare tillkom 1992 en professur i kompositmaterial vid Luleå tekniska högskola.³³¹

Den mest omfattande forskningen vid svenska universitet var dock inriktad mot traditionella polymera material och polymerteknologi. Forskargrupper inom båda områdena fanns vid KTH i Stockholm och vid Chalmers i Göteborg. Dessutom bedrevs verksamhet inom polymerområdet vid Uppsala universitet och vid Kemitekniska centrumet, Lunds universitet. Ett forskningsinstitut inriktat mot plast- och gummiteknisk forskning hade etablerats 1977. Forskningen inom polymerteknologi och polymera material vid KTH var dominerande och den vetenskapligt ledande miljön i landet, med internationella kontakter och industrisamarbeten som gick tillbaka till den verksamhet som under Bengt Rånby hade byggts upp under 1960- och 1970-talen. Efter Rånbys pension 1986 hade Ann-Christine Albertsson tagit över ledningen för den polymertekniska forskningen vid KTH. En forskningsgrupp med liknande inriktning leddes av Per Flodin sedan 1977 vid Chalmers. Ett område som speciellt skulle utredas av den internationella expertgruppen som STU tillsatt 1988 var huruvida det gick att skapa ett "excellenscentrum" inom polymervetenskap och polymerteknologi i Sverige. Rekommendationen blev att detta skulle göras på regional basis med allianser mellan Stockholm och Uppsala respektive Göteborg och Lund. Bildandet av ett materialkonsortium med tyngdpunkt på västkusten 1990 ligger i linje med denna rekommendation.³³²

Anledningen till att forskargruppen vid KTH i Stockholm fick stå tillbaka för de nyare och mindre utvecklade grupperna vid Chalmers och Lund tycks alltså till stor del ha handlat om industriella överväganden. Stora delar av den berörda industrin fanns på västkusten, med flera viktiga företag koncentrerade till Stenungsund där oljebolaget Esso uppförde en krackningsanläggning under 1970-talet. Plastmaterial som tillverkades var bland annat polyeten och PVC. De ursprungliga industrierna var Berol Kemi, MoDo kemi och Unifos, men efter samgåenden har verksamheten koncentrerats till Perstorp, Akzo Nobel och Borealis.³³³ STU ville mot denna bakgrund balansera om det svenska forskningssystemet genom att stödja forskningen på västkusten.³³⁴ Internationellt bedrevs materialorienterad polymerforskning till stor del vid industriella forskningslaboratorier, medan universitetens forskning var av mindre betydelse. Forskningslaboratorierna som byggts upp i anslutning till den amerikanska kemikoncernen Du Pont var vetenskapligt ledande och organisatoriskt stilbildande.³³⁵ Den svenska industristrukturen var dock annorlunda, framförallt genom att industrierna till

³³¹ Intervju med Lars Berglund.

³³² Friborg och Lindman, *Report of the International Evaluation Committee on Swedish Polymer Research and Technology*, s. 22.

³³³ Intervju med Krister Holmberg.

³³⁴ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1991*.

³³⁵ Hounshell, "Invention in the Industrial Research Laboratory."

stor var användare av polymera material. Industrins intresse i grundläggande polymerkemi och polymerteknologisk forskning var därför begränsat. Detta innebar problem för forskarna inom materialkonsortiet, vilket lyftes fram i utvärderingen 1995:

The fact that Swedish industries are users/converters of polymers rather than producers has posed particular problems for the research groups since there is no direct interest in fundamental polymer science and technology per se. The topics developed for the research programmes have therefore been chosen by the research groups to foster interdisciplinarity, to generate scientific understanding that might be relevantly translated into converter industries where Sweden has a strong industrial base. Paint, packaging, automotive and health care products fall into this category and the consortia have been in discussion with these industries.³³⁶

Förväntningarna om att genom konsortiet skapa ett fördjupat vetenskapligt samarbete mellan Lund och Göteborg infriades inte. Forskningen bedrevs i huvudsak efter etablerade linjer vid de medverkande institutionerna. Konsortiet kritiserades i de internationella utvärderingarna för brister i ledarskap och tvärvetenskaplighet och avsaknaden av integration mellan forskargrupperna. Förlängd finansiering för en andra period efter 1995 beviljades inte. Samtidigt konstaterade utvärderarna att forskningsresultaten på det stora hela var goda och att ambitionen att bygga upp en andra svensk gruppering på västkusten med tyngdpunkt i Göteborg hade lyckats:

The establishment of the consortium ... was originally motivated by the need to nucleate a critical mass of polymer expertise on the "west coast" to parallel that on the "east coast". The formation of the consortium has undoubtedly achieved this objective since the two communities are now of comparable size, both being important for Swedish Industry... The formation of the consortium has had a beneficial effect on the ability of the various groups to persuade the universities to provide additional resources, most notably in advanced instrumentation. The consortium is now well equipped with a portfolio of advanced assets to ensure effective and up to date training for the graduate community.³³⁷

Detta blev den kanske viktigaste långsiktiga effekten. Forskningen inom polymerområdet stärktes betydligt vid Chalmers och blev mer jämbördig med de mer etablerade forskargrupperna vid KTH i Stockholm.

³³⁶ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1995*, s. 27.

³³⁷ Nutek och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Materials Technology: International Evaluation December 1995*, s. 26–27.

Sammanfattning

Materialkonsortieprogrammets tillkomst och innehåll har behandlats utförligt i detta kapitel. Programmets betydelse ligger framförallt i att det var den första breda och samlade svenska forskningssatsningen helt inriktad mot avancerad materialvetenskaplig och materialteknisk forskning. Genom materialkonsortierna samlades för första gången de olika grenarna inom svensk materialvetenskap i en sammanhållen satsning. I den meningen utgjorde programmet något av en vattendelare i den svenska materialvetenskapens utveckling – det var under 1990-talet som materialvetenskapen började framträda som en mer tydligt definierad disciplin i det svenska forskningssystemet. Mellan konsortieprogrammet och föregående forskningsprogram under 1980-talet finns samtidigt tydliga kopplingar. Flera ingående forskargrupper hade antingen medverkat i något av STU:s ramprogram med inriktning mot avancerade material eller mikroelektronikprogrammen. Flera forskare har i intervjuer betonat materialkonsortieprogrammets betydelse som mötesplats och arena för diskussioner mellan disciplinerna.

I inledningen diskuterades med utgångspunkt i internationell litteratur ett antal faktorer som karaktäriserat materialvetenskapens utveckling i ett internationellt, huvudsakligen amerikanskt, sammanhang. Dessa var forskningsfinansieringen och politiken, teknikens betydelse samt industrins roll och relationen mellan industriell och akademisk forskning. Materialkonsortieprogrammet illustrerar tydligt betydelsen av den första av dessa faktorer, politiken och forskningsfinansieringen, för den svenska materialvetenskapens formering. Industrin och industriforskningen hade ingen framträdande plats i programmet. Industrin medverkade och fick efterhand en större roll, men de vetenskapliga kvalitetskriterierna var det som styrde när konsortierna bildades och till stor del även när forskningen utvärderades under programmets gång. Materialkonsortiernas syfte var att stärka och utveckla de vetenskapligt ledande forskargrupperna inom materialområdet. Materialkonsortieprogrammet samlade med andra ord den svenska materialvetenskapen efter huvudsakligen inomvetenskapliga linjer.

Forskningsfinansieringens betydelse handlade till stor del om de investeringar i teknik och vetenskaplig instrumentering som materialkonsortieprogrammet och de satsningar som föregick det möjliggjorde. Flera av de forskargrupper som gick in i programmet gjorde det med stora investeringar i ny teknik till renrum och laboratorier i ryggen. I bakgrunden fanns en snabb instrumentteknisk utveckling under 1980-talet, som bidragit till att öppna upp nya forskningsområden. Det handlade både om nya tekniker för materialsyntes och manipulering av ytor och om spektroskopiska och mikroskopiska metoder för att karaktärisera material på mikroskala och nanoskala. Stor betydelse hade den snabba datortekniska utvecklingen, som banade väg för ett större inslag av teoretiska elektronstrukturberäkningar i materialvetenskapen under 1990-talet. Inom tunnfilmområdet, som utgjorde en betydande del av programmet, spelade teknikin-
vesteringar med finansiering genom det nationella mikroelektronikprogrammet en stor roll. Materialkonsortieprogrammet inleddes samtidigt som mikroelektronikprogrammet

avslutades och bidrog till fortsatta utrustningsinvesteringar för de forskargrupper och institutioner som beviljades finansiering. Samtidigt fortsatte finansieringen av forskningen inom mikroelektronik i stor skala under 1990-talet inom ramen för andra program och satsningar. Ett viktigt inslag var de specialanslag för instrumentering, sammanlagt femtio miljoner kronor, som utgick under de första två åren av materialkonsortieprogrammet. Till detta kom ytterligare stöd från bland annat Knut och Alice Wallenbergs stiftelse, som inte har behandlats här men som hade central betydelse för materialvetenskapens infrastruktur genom mycket stora investeringar i avancerad utrustning. En viktig del av programmets betydelse låg också i forskarutbildningen inom konsortierna, som gav upphov till en generation yngre materialvetenskapligt inriktade forskare.

Materialkonsortieprogrammet bidrog till en utveckling som innebar att ett antal ledande forskningsmiljöer började utkristallisera sig under 1990-talet, ofta runt välutrustade laboratorier med avancerad och dyrbar utrustning. Dessa miljöer fick särskilda förutsättningar att utvecklas, vilket gav dem en många gånger dominerande position inom sina respektive nischer. Det var inget krav att materialkonsortierna skulle vara geografiskt och institutionellt koncentrerade, men de skulle ha en tydlig tyngdpunkt i en forskningsmiljö. I flera av konsortierna ingick forskargrupper från flera lärosäten. Mest framgångsrika i sin verksamhet var dock de mer koncentrerade konsortierna, medan de som samlade flera forskningsinstitutioner i allmänhet lyckades sämre. Flera av de senare antingen splittrades upp eller avvecklades helt. De kanske tydligaste exemplen på breda materialvetenskapliga miljöer som utvecklades runt en bas av gemensam utrustning finns vid Linköpings universitet (tunnfilmskonsortiet) och Lunds universitet (nanometerkonsortiet). De tekniska högskolorna vid båda universiteten utvecklades under 1970-talet samtidigt med materialvetenskapens etablering, vilket underlättade samarbeten över institutionsgränser. Men vanligare var att nya materialvetenskapliga forskningsinriktningar byggdes upp och expanderade inom etablerade institutioner vid universiteten. I båda fallen hade dock konsortieprogrammet en strukturerande verkan, som bidrog till materialvetenskapens koncentration och forskningsinstitutionernas specialisering. Materialkonsortieprogrammet avslutades sommaren 2000, men flera av de forskargrupper som ingick i programmet fick fortsatt stöd genom de uppföljande program och centrumbildningar som uppstod i programmets kölvatten. De nya satsningarna skedde mot bakgrund av 1990-talets stora forskningspolitiska förändringar som ska behandlas i nästa kapitel.

Kompetenscentrum, industrisamverkan och strategiska forskningsområden

Under tiden som materialkonsortieprogrammet löpte mellan 1990 och 2000 skedde stora och genomgripande förändringar i det svenska forskningslandskapet. Under sina tio år kom programmet att administreras i tre olika konstellationer – STU och NFR (1990-1991), Nutek och NFR (1991-1997) och SSF (1997-2000). Skiftena speglar de politiska förändringarna under 1990-talet, som var ett forskningspolitiskt omvälvande årtionde. Förändringarna hade liten betydelse för programmets innehåll. De politiska beslut som fattades om forskningens finansiering och de organisatoriska förändringar som genomfördes av periodens borgerliga och socialdemokratiska regeringar innebar samtidigt stora förändringar i det svenska forskningssystemet. En detaljerad analys av forskningspolitiken under 1990-talet finns det inte utrymme för i denna studie. Kapitlet inleds istället med sammanfattning av huvuddragen i processen.³³⁸ Syftet är att ge en bakgrund och ett sammanhang till materialvetenskapens och materialteknikens utveckling från slutet av 1990-talet och framåt, som är temat för resten av kapitlet.

Forskningspolitiken under 1990-talet

Startpunkten för 1990-talets politiska strider om forskningens finansiering och organisation var den avveckling av löntagarfonderna som den borgerliga fyrtipartiregeringen inledde kort efter sitt tillträde hösten 1991. Regeringens avsikt var från början att betala tillbaka löntagarfondernas medel till industrin, men sedan detta visat sig vara praktiskt omöjligt beslutades att fonderna istället skulle användas för att stärka den svenska industrins långsiktiga konkurrenskraft och stimulera fram tillväxten av nya näringsgrenar. Detta skulle bland annat ske genom att medlen satsades på vetenskaplig grundforskning och forskarutbildning inom vissa centrala områden. Medel gick även till riskkapitalfonder och till den stiftelse som bildades för ägandet av Chalmers i Göteborg, som ombildades till aktiebolag. Regeringen betonade i en proposition våren 1992 behovet av att reformera och modifiera systemet för forskningsfinansiering.³³⁹

Mats Benner, som har studerat den forskningspolitiska processen i anslutning till löntagarfondernas avveckling, konstaterar att myndigheternas reaktioner på det politiska initiativet i hög grad utgick från deras respektive intresseområden. Forskningsråden

³³⁸ Forskningspolitiken under perioden har varit föremål för tidigare forskning. Framställningen i avsnittet nedan bygger till stor del på: Mats Benner, *Kontrovers och konsensus: Vetenskap och politik i svenskt 1990-tal* (Stockholm, 2001).

³³⁹ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 53–54.

argumenterade för en ökning av finansieringen inom sina respektive områden.³⁴⁰ Inom det industriella och teknikvetenskapliga området inkom de myndigheter som bildats genom uppdelningen av STU 1991 med olika förslag om hur den tekniska forskningen kunde stärkas. STUF hade ombildats till ett fristående teknikvetenskapligt forskningsråd (TFR), som förordade satsningar på några specifika områden – nanoteknologi, optoelektronik, enzymteknologi och molekylära sensorer. Förstärkningen av forskningen skulle enligt Benner ske genom en utbyggd forskarutbildning inom ramen för forskarskolor, en allmän förstärkning av forskningsfinansieringen och satsningar på vetenskaplig infrastruktur.³⁴¹ Nutek, som hade forskning för industriell utveckling till uppgift, lyfte fram en nyligen beslutad men ännu inte genomförd satsning (med utrymme för uppskalning) på kompetenscentrum inom miljöteknik, energi- och transportteknik, produktionsteknik, bioteknik och informationsteknologi. Satsningen på kompetenscentrum byggde till stor del på erfarenheterna från materialkonsortieprogrammet, men med tydligare och större industrimedverkan enligt ERC-modellen.³⁴²

Regeringens förslag, som presenterades i forskningspropositionen 1993, blev istället bildandet av ett antal forskningsstiftelser med löntagarfondernas medel.³⁴³ I sin argumentation för stiftelserna och behovet av en offensiv forskningssatsning pekade regeringen på den ökade internationella konkurrensen och ekonomins globalisering. Behovet hos industrin handlade mot denna bakgrund dels om tillgången på högt kvalificerad arbetskraft, vilket skulle tillgodoses genom en utbyggd forskarutbildning, dels om djupare kontakter mellan industri och akademisk forskning. Finansiering av forskarutbildning och att skapa starka forskningsmiljöer av internationell klass blev enligt Benner stiftelsernas två huvuduppgifter.³⁴⁴ Inom medicin, naturvetenskap och teknik skapades en stiftelse för strategisk forskning (SSF) som också fick huvuddelen av de tillgängliga medlen. Benner konstaterar att närmare två tredjedelar av löntagarfondernas resurser tilldelades den strategiska forskningsstiftelsen i första omgången.³⁴⁵ Inriktningen grundade sig i begreppet ”strategisk forskning” som hade lanserats under 1980-talet som samlingsbeteckning på brett tillämpbara och ofta tvärvetenskapliga forskningsområden som placerade sig ”på nivån mellan grundforskning och tillämpad forskning”.³⁴⁶ Förutom materialvetenskap och materialteknik – de kanske tydligaste av dessa breda strategiska forskningsområden – fick stiftelsen ett speciellt ansvar för

³⁴⁰ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 55.

³⁴¹ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 56.

³⁴² Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 56.

³⁴³ *Forskning i frontlinjen*, Prop. 1992/93:171.

³⁴⁴ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 57–58.

³⁴⁵ De andra stiftelserna var inriktade mot miljöstrategisk forskning (MISTRA) och kulturvetenskaplig forskning (inom ramen för Riksbankens jubileumsfond). Senare tillkom stiftelsen för kunskaps- och kompetensutveckling (KK-stiftelsen) och stiftelsen för internationalisering av högre utbildning och forskning (STINT). Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 60–61.

³⁴⁶ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 60.

informationsteknologi och bioteknologi.³⁴⁷ Motivet var alltså att skapa en ny organisation för finansiering av den sorts forskning som den ”befintliga finansieringsstrukturen ofta missade” i sina mer ”ämnes- och disciplinbundna prioriteringar”.³⁴⁸ Benner karakteriserar den strategiska forskningsstiftelsen som något av en ”organisatorisk hybrid”, med en struktur som lånade drag av både forskningsråd och ”sektorsorgan”.³⁴⁹

Efter regeringsskiftet 1994 inledde den nya socialdemokratiska regeringen omgående försök att skaffa sig kontroll över löntagarfondsstiftelsernas medel. Avsikten var att dra in medlen från stiftelserna och avveckla dessa. Men detta misslyckades. I november 1996 ändrades istället stiftelselagen. En ny styrelse för bland annat SSF tillsattes med uppgift att samordna stiftelsens satsningar med de statligt kontrollerade finansiärerna. Detta skulle ge utrymme för neddragningar i statens forskningsfinansiering. I styrelsen ingick ordföranden och huvudsekreteraren för de tekniska, naturvetenskapliga och medicinska forskningsråden samt generaldirektören för Nutek. Beslut fattades våren 1997 att strategiska forskningsstiftelsen skulle överta åtaganden motsvarande en halv miljard kronor över en treårsperiod från forskningsråden och sektorsorganen. Till SSF överfördes bland annat elektronikprogrammet och hela materialkonsortieprogrammet under den återstående programperioden mellan 1997 och 2000.³⁵⁰

Samtidigt genomfördes omfattande neddragningar i de delar av forskningssystemet som stod under statens direkta kontroll. Fakultetsanslagen till universitet och högskolor minskade i omgångar, liksom grundutbildningsanslagen per student. Mellan 1995 och 1997 minskade forskningsrådets (inklusive NFR och TFR) budgetar med omkring 15 procent. Mer omfattande besparingar drabbade Nutek vars anslag för teknisk forskning minskade med 30 procent.³⁵¹ I sin nedbantade form var Nutek verksamt under fyra år fram till de nya organisationsförändringarna 2001 då verksamheten delades upp och finansieringen av teknisk forskning fördes över till en nybildad myndighet, Verket för innovationssystem (Vinnova). Energiforskningen hade avskilts till den nybildade Statens energimyndighet (STEM) redan 1997. Samtidigt slogs de teknikvetenskapliga och naturvetenskapliga forskningsråden (TFR och NFR) och forskningsrådsnämnden (FRN) samman till Vetenskapsrådet (VR), som inledde sin verksamhet i januari 2001.

Det är mot bakgrund av dessa genomgripande förändringar i det forskningspolitiska systemet som satsningarna på materialvetenskaplig och materialteknisk forskning under slutet av 1990-talet och början av 2000-talet ska ses. Neddragningarna i fakultetsanslagen innebar att konkurrensutsatta forskningsmedel stod för en allt större andel av den

³⁴⁷ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 60.

³⁴⁸ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 54.

³⁴⁹ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 59.

³⁵⁰ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 102–107.

³⁵¹ Benner, *Kontrovers och konsensus*, s. 102.

tekniska och naturvetenskapliga forskningens finansiering. Flera av de viktigaste forskningspolitiska initiativen inom det industriella och teknikvetenskapliga området hade under 1980-talet tagits av STU. De nybildade myndigheterna, Nutek och senare Vinnova, intog inledningsvis en mer nedtonad roll som en konsekvens av neddragningarna.³⁵² Kompetenscentrumprogrammet, som startades upp 1995, innebar samtidigt en betydande nysatsning. Vinnova tog senare initiativ inom de delar av materialvetenskapen som SSF inte ansvarade för. Forskningsstiftelserna tog samtidigt plats i systemet. Finansiering av materialvetenskaplig och materialteknisk forskning blev en av huvuduppgifterna för SSF. Det skedde inom det materialvetenskapliga anslagsområdet, men materialvetenskapligt inriktade forskare kunde dessutom få stöd inom projekt inriktade framförallt mot huvudområdena mikroelektronik eller bioteknik. Inom materialvetenskapen öppnade förändringarna i det svenska finansieringssystemet, liksom tillgången på finansiering genom EU, upp nya finansieringsmöjligheter. En konsekvens blev att de strategiska centrumbildningarna som uppstod i materialkonsortiernas kölvatten blev en viktig finansieringskälla för många forskningsmiljöer.³⁵³

Nya centrumbildningar i materialkonsortiernas kölvatten – kompetenscentrum och strategiska forskningscentrum

Kompetenscentrumprogrammet blev under 1990-talet något av ett flaggskepp bland satsningarna inom Nutek. Programmets tillkomst ska ses mot bakgrund av de politiska diskussionerna om löntagarfondsmedlens användning, som diskuterats ovan. Satsningen utgjorde en del av svaret från Nutek till regeringen om fondernas möjliga användning för teknisk forskning. Regeringens beslut om inrättande av forskningsstiftelser ledde till diskussioner om kompetenscentrumprogrammets realisering. Nutek valde att driva

³⁵² Mats Benner och Bo Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", i Ulf Sandström (red.), *Det nya forskningslandskapet* (Stockholm, 2002), s. 168.

³⁵³ En stor del av den materialvetenskapliga forskningen bedrivs inom ramen för den kondenserade materiens fysik. I en utvärdering av den svenska forskningen på området som en internationell expertgrupp genomförde 2004 på uppdrag av Vetenskapsrådet konstaterade att de rörliga "mjuka" medlen för forskningens finansiering ökad betydligt under 1990-talet: "Since 1992, condensed matter physics, defined in a broad sense, has increased significantly in Sweden, whereas other areas of physics have remained constant or even decreased. The reason for the expansion is that new funding sources, in particular the Swedish Foundation for Strategic Research (SSF) and the EU framework thematic programmes, have become available to researchers in condensed matter physics, but to a much lesser degree to researchers in other fields of physics. Condensed matter physicists also had a stronger presence in the former Swedish Research Council for Engineering Sciences (TFR) than other physicists. When the new Swedish Research Council was formed (in January 2001), condensed matter physics, including semiconductor physics, material physics, and some engineering physics ... comprised significantly more than 50 % of support to physics and, roughly, more than 15 % of the total support to the natural and engineering sciences." Den ökade tillgången på forskning hade inneburit att antal forskare aktiva inom den kondenserade materiens fysik hade ökat med 80-90 % mellan 1992 och 2004. Expertgruppen konstaterade att denna expansion inte hade lett till någon minskad kvalitet inom forskningen, eller försämring av den vetenskapliga infrastrukturen. Samtidigt hade inte universitetssystemet hunnit utvecklas i takt med expansionen. Resultatet var en minskad andel forskare med fasta tjänster och mer kortsiktiga forskningsprojekt. Se *Evaluation of Swedish Condensed Matter Physics, 2004*, Vetenskapsrådets rapportserie 2015:12, s. 10–11.

satsningen vidare. Formellt ingick programmet som en del i regeringens uppdrag till Nutek i forskningspropositionen 1993.³⁵⁴

Kompetenscentrumprogrammet baserades delvis på erfarenheterna från material-konsortierna. En viktig skillnad var dock att kravet på industrimedverkan markerades tydligare i enlighet med ERC-modellen. Medan materialkonsortiernas koppling till industrins forskning var svaga, även efter omstruktureringen 1991, skulle en betydande del av kompetenscentrumens ”finansiering” komma från medverkande företag framförallt genom aktivt deltagande med egen personal (”in kind”).³⁵⁵ En andra skillnad var att kompetenscentrumen skulle ha en tydlig bas i ett enda universitet eller en högskola. Finansieringsmodellen utgick från en grundfinansiering från Nutek och en motfinansiering från det universitet som stod bakom centrubildningen. Industrins finansiering, som också kunde bestå i forskningsdeltagande med personal, motsvarade mellan 25 och 40 procent av budgeten.³⁵⁶ Internationellt var förebilden främst de amerikanska ERC-satsningarna som STU hade studerat under 1980-talet samt i viss mån Fraunhoferinstituterna i Tyskland.³⁵⁷ I den utvärdering av programmet som senare gjordes ingick ansvariga för ERC vid National Science Foundation (NSF) i den internationella expertgruppen.³⁵⁸

Storleken på programmet, som löpte mellan 1995 och 2004, var omkring fem miljarder kronor med en genomsnittlig årlig budget om 20 miljoner kronor per centrum. Finansieringen från Nutek och senare Vinnova, som tog över flertalet av centrumen 2001, uppgick till sammanlagt en och en halv miljard kronor under tio år. Detta ska ställas mot materialkonsortieprogrammet som omfattade totalt 300 miljoner kronor, med ett genomsnittligt anslag på i storleksordningen fem miljoner kronor per konsortium och år.³⁵⁹ Kompetenscentrummen valdes ut med hänsyn till deras ”strategiska betydelse” för svensk industri inom fyra områden:

- Energi-, transport- och miljöteknologi
- Produktions- och processteknologi
- Bioteknologi och biomedicinsk teknologi
- Informationsteknologi

Inriktningen hos kompetenscentrumprogrammet var alltså bredare än hos material-konsortierna. Materialvetenskap och materialteknik ingick inte som ett av de teknologiområden som stod i centrum, men forskning om material kunde rymmas som en del i den tvärvetenskapliga satsningen under programmets fyra huvudområden.

³⁵⁴ Proposition 1992/93:170.

³⁵⁵ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

³⁵⁶ Staffan Hjorth, *The NUTEK Competence Centre Programme* (Stockholm, 2000), s. 4–5.

³⁵⁷ Hjorth, *The NUTEK Competence Centre Programme*, s. 1.

³⁵⁸ Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

³⁵⁹ Oxford research, *Evaluation of The Programme for Interdisciplinary Materials Research Consortia*, s. 51.

Regeringens uppdrag var ett program med trettio centrum. Nutek gick i april 1993 ut med en utlysning om planeringsbidrag för att skriva ansökningar. Intresset för programmet var stort – av inkomna 326 ansökningar beviljades 61 planeringsbidrag. I februari 1994 hade det inkommit sammanlagt 117 fullskaliga ansökningar och av dessa valdes 29 ut för finansiering. Verksamheten inom kompetenscentrummen startade under 1995.³⁶⁰

Ett antal av kompetenscentrumen inrättades av forskare som samtidigt var aktiva i materialkonsortieprogrammet. Inriktningen mot industrirelevant forskning innebar en möjlighet att etablera centrumbildningar med mer tillämpat innehåll, som inte rymdes inom materialkonsortierna. Det gällde inte minst de två kompetenscentrum som bildades i anslutning till fysiska institutionen vid Chalmers, som under 1980-talet hade byggt upp en materialforskning som kunde kopplas till huvudområdet energi-, transport och miljöteknologi. Ett första kompetenscentrum, bildat av Bengt Kasemo och Stig Andersson, gällde katalytisk forskning. Forskningen var inriktad mot heterogen katalys för utsläppsminskningar, katalytisk förbränning och avgasrening. Medverkande industripartner kom från fordonsindustrin genom Volvo teknisk utveckling och SAAB Automobil och EKA Chemicals.³⁶¹ Samarbetet med Volvo gick tillbaka till 1970-talet. I efterhand kan man dra en rak linje mellan de tidiga kontakterna med Volvo inom katalysområdet via förbränningsprogrammet, som STU finansierade parallellt med ramprogrammet om ytors fysik och kemi, till kompetenscentrum katalys (KCK) som etablerades 1995.³⁶²

Ett andra kompetenscentrum med bas vid Chalmers skulle bedriva forskning om högtemperaturkorrosion. Korrosion var ett betydelsefullt materialvetenskapligt problem med hög industriell relevans. Inriktningen mot just högtemperaturkorrosion var ett uttryck för specialiseringen vid Chalmers, där institutionerna för fysik, metalliska konstruktionsmaterial och oorganisk kemi under 1980-talet inlett ett samarbete inom ramen för ytors fysik och kemi.³⁶³ Dessa forskningsinstitutioner bildade stommen i kompetenscentrum högtemperaturkorrosion (HTC). Flera tongivande forskare hade dessutom medverkat i materialkonsortiet om metalloxidiska ytstrukturer, som avvecklades samtidigt som kompetenscentrumprogrammet lanserades. Dessutom ingick Institutet för metallforskning (IM), Svenska keraminstitutet (SCI) och forskargrupper vid KTH. Forskningen vid KTH och korrosionsinstitutet i Stockholm, den andra ledande svenska miljön, hade istället sin tonvikt vid forskning om atmosfärisk korrosion.³⁶⁴ Industriellt uppstod problem med högtemperaturkorrosion i samband med energiproduktion, i motorer och industriella processer. Medverkande industrier kom

³⁶⁰ Hjort, *The NUTEK competence centre programme*.

³⁶¹ Hjort, *The NUTEK competence centre programme*.

³⁶² Intervju med Bengt Kasemo.

³⁶³ Weinberger, *Nätverksentreprenören*.

³⁶⁴ Intervju med Christofer Leygraf.

från ett brett spektrum av branscher med intressen i denna problematik: Sandvik Material Technology, NIBE Industrier, Volvo Aero Corporation, Volvo Powertrain, Siemens Industrial Turbo Machinery, Alstom Power Sweden, Metso Power Sweden och Kanthal.³⁶⁵

Andra kompetenscentrum anslöt mer direkt till verksamheten inom aktiva konsortier i materialkonsortieprogrammet. Ett viktigt inslag i Linköpings universitets del av biomaterialkonsortiet var, som redan nämnt, den forskning som under Ingemar Lundströms ledning byggts upp inom biologisk och kemisk sensorvetenskap. Sensorforskningen fick dessutom separat finansiering genom kompetenscentrumet Swedish Sensor Centre (S-SENCE), som bildades 1995 och som fram till 2005 samlade verksamheten vid Linköpings universitet. Som en del av forskningen inom S-SENCE ingick forskning om biosensorer för medicinsk diagnostik baserade på fenomenet ytplasmonresonans. Men verksamheten inom kompetenscentrumet var bredare och inkluderade även andra delar av den sensorforskning vid Linköpings som etablerats under 1980-talet. En huvudinriktning blev gassensorer som utnyttjades industriellt som ”elektroniska näsor” i sensormatriser med mönsterigenkänning för gasdetektering. En andra huvudinriktning, under ledning av Anita Lloyd Spetz, var förbränningssensorer för höga temperaturer i bland annat bilmotorer. Här finns kopplingar till kiselkarbid-forskningen inom tunnfilmskonsortiet. Industrins del av finansieringen kom från företag med intressen i sensorteknologi för industriell processteknik, energi- och miljöteknik, fordonsteknik samt medicinsk och biomedicinsk teknik, som bland andra EKA Chemicals, Iggesunds Paperboard, Pharmacia, Stora Billerud och Volvo teknisk utveckling.³⁶⁶

Materialvetenskapliga institutionen på KTH som var tongivande i materialkonsortiet om datorstödd material och processutveckling (CAMPADA) beviljades dessutom parallellt finansiering från Nutek för ett kompetenscentrum, Brinell Center for Inorganic Interfacial Engineering (BRIIE). Förutom dessa fyra kompetenscentrum vid Linköping, Chalmers och KTH, som alla hade en relativt tydlig materialvetenskaplig inriktning, ingick frågeställningar om material och egenskaperna hos material som ett inslag i flera av de andra centrumbildningarna. Chalmers bildade ett kompetenscentrum om järnvägsmekanik (CHARMEC), med material- och underhållsfrågor som ett av fem delområden. Ett program om vedfibers struktur och egenskaper (WURC) baserades vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) i samarbete med bland annat KTH och träforskningsinstitutet STFI i Stockholm. Ett kompetenscentrum inriktat mot livscykelanalyser av produkt- och materialsystem (CPM) etablerades i Göteborg. Inom delområdet bioteknologi inrättades vid universitetet i Lund ett kompetenscentrum om bioseparation.

³⁶⁵ Hjort, *The NUTEK competence centre programme*.

³⁶⁶ Hjort, *The NUTEK competence centre programme*.

Materialvetenskapliga institutionen vid Uppsala universitet beviljades ett kompetenscentrum inom mikromekanik och ytteknologi (SUMMIT), med tillämpade delprojekt om bland annat mikrofluidik samt mikrostrukturen hos polymerer och diamanter.³⁶⁷

En konsekvens av de forskningspolitiska förändringarna under 1990-talet var att Stiftelsen för strategisk forskning (SSF) seglade upp som en betydelsefull finansär av materialvetenskaplig och materialteknisk forskning vid sidan om Nutek och de teknikvetenskapliga och naturvetenskapliga forskningsråden. Det var delvis en följd av att SSF tagit över materialkonsortieprogrammet 1997, men andra program startade parallellt. Finansiering av forskarskolor och nationella nätverk var viktiga nya stödformer. Mellan 1996 och 1999 initierades ett flertal program, som vart och ett fick en budget på i storleksordningen 40-70 miljoner kronor och ibland mer under en sexårsperiod.³⁶⁸ Benner och Persson har beskrivit satsningarna som ”mindre forskningsråd”, med ansvaret för fördelning av resurser och beslut om forskningsinsatser lagt på programstyrelser och programdirektörer.³⁶⁹ Industrin var kopplad till programmen, men med en mer tillbakadragen plats än i kompetenscentrumprogrammet som parallellt drevs av Nutek.³⁷⁰

I spetsen för programmen stod ofta etablerade forskare, med upparbetade kontaktnät och djup förankring i det akademiska systemet. Flera stora anslag gick till projekt med Bengt Kasemo som forskningsledare. Kasemo hade i anslutning till diskussionen om löntagarfondsmedlens användning genomfört en utredning om biomaterialforskning, vilket resulterade i ett program 1996 om biomaterial med inriktning som direkt knöt an till verksamheten inom biomaterialkonsortiet.³⁷¹ Forskningens inriktning var mot benförankrade implantat, tribologiska aspekter hos artificiella leder, blodkompatibilitet hos biomaterial. Till programmet kopplades en materialvetenskaplig forskarskola vid Chalmers. Kasemo blev dessutom forskningsledare för andra program om funktionella polymerer, med speciella ytegenskaper och elektriska och optiska egenskaper, samt ett program om kompositbaserade elektriska isolatorer i samarbete med ABB.³⁷²

Stora program för forskning inom högfrequenselektronik, högfrequenskisel samt kvantkomponenter och kvantmaterial gick till forskare vid Chalmers i Göteborg och KTH i Stockholm.³⁷³ Erik Janzén, som medverkade i tunnfilmkonsortiet vid Linköpings universitet, fick 1996 ett stort anslag från strategiska forskningsstiftelsen för en forskarskola om kiselkarbidelektronik. Medel till en forskarskola gick samtidigt till

³⁶⁷ Hjorth, *The NUTEK Competence Centre Programme*.

³⁶⁸ Benner och Persson, ”Forskningssamverkan i akademisk form”, s. 169.

³⁶⁹ Benner och Persson, ”Forskningssamverkan i akademisk form”, s. 169.

³⁷⁰ Benner och Persson, ”Forskningssamverkan i akademisk form”, s. 169.

³⁷¹ Intervju med Bengt Kasemo.

³⁷² Uppgifter från SSF.

³⁷³ Forskningsledare var Herbert Zirath och Robert Shekhter vid Chalmers och Mikael Östling vid KTH.

materialvetenskapliga institutionen på KTH för ett Brinellcentrum om metallurgisk forskning. Brinellcentrum skulle bedriva forskning och forskarutbildning inom två huvudområden, datorstödd materialvetenskap och materialteknik samt optimerad stålframställning. Forskningen bedrevs i nära anslutning till materialkonsortiet om datorstödd materialutveckling och det kompetenscentrum som etablerades 1995.³⁷⁴ Forskarskolor med kopplingar till materialvetenskap sjuöptes också Uppsala universitet inom mikromekanik och Lunds universitet inom yt- och kolloidteknologi samt Luleå tekniska universitet inom trämekanik.³⁷⁵

Under senare delen av 1990-talet och början av 2000-talet ändrade strategiska forskningsstiftelsen inriktning, bort från finansiering av breda nätverk mot mer koncentrerade satsningar.³⁷⁶ Istället blev ramprogram och strategiska forskningscentrum de viktigaste anslagsformerna. Ramanslagen var mindre än forskningsprogrammen, men gick samtidigt till en vidare grupp forskare. Flera av ramanslagen inom materialvetenskap, som utlystes i två omgångar med start under 2000 och 2003, gick till forskargrupper som varit knutna till materialkonsortieprogrammet.³⁷⁷ Andra gick till nya konstellationer. I praktiken kom ramanslagen att utgöra en fristående fortsättning på konsortieprogrammet, men med mindre uttalad styrning vad gäller krav på ledning och tvärvetenskap från programledningens sida.³⁷⁸ Stiftelsens strategiska forskningscentrum var större satsningar på starka forskningsmiljöer, med en internationellt kvalificerad forskare i ledningen. Forskningscentrumen var enligt Benner och Persson avsedda att finansiera breda satsningar i vilka samlokaliserade forskargrupper, med olika men kompletterande kompetenser, gemensamt grep sig an gränsöverskridande forskningsproblem.³⁷⁹ I linje med tidigare inriktning blev forskarutbildning och finansiering av doktorander en central del av verksamheten. Finansieringen var långsiktig, mellan 6 och 10 år. Liksom i fallet med den parallella satsningen på kompetenscentrum hos Nutek fanns industrirelevans med som ett kriterium, men mer långsiktigt och utan resursinsats från företag. De första strategiska forskningscentrumen inrättades inom livsvetenskaperna, men senare vidgades anslagsformen till att även omfatta områdena mikroelektronik och materialvetenskap.³⁸⁰

Materialkonsortieprogrammet avslutades sommaren 2000. Betydelsen av programmet som modell för senare forskningsfinansiering har redan behandlats och har dessutom lyfts fram i tidigare studier av bland annat Benner och Persson.³⁸¹ I vetenskaplig mening var materialkonsortieprogrammet dessutom viktigt genom att det bidrog till att föga

³⁷⁴ Uppgifter från SSF.

³⁷⁵ Forskningsledarna var Jan-Åke Schweitz, Björn Lindman samt Helena Johnson.

³⁷⁶ Benner och Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", s. 169–170.

³⁷⁷ Uppgifter från SSF.

³⁷⁸ Intervju med Ingela Agrell den 1 oktober 2015.

³⁷⁹ Benner och Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", s. 170.

³⁸⁰ Benner och Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", s. 169–170.

³⁸¹ Se bland annat: Benner och Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", s. 167.

samman materialvetenskapen till en mer enhetlig disciplin i det svenska forskningssystemet. Under 1990-talet genomgick den svenska materialvetenskapen och materialtekniken en snabb förändring. Ett tydligt drag i utvecklingen var att ett antal starka forskargrupper vid de stora universiteten utkristalliserade sig runt välutrustade laboratorier och renrum med ny och avancerad utrustning. Forskningspolitikens och forskningsfinansieringens betydelse handlade till stor del om de investeringar som programmen möjliggjorde. Materialkonsortieprogrammet var betydelsefullt i detta sammanhang, liksom det nationella mikroelektronikprogrammet som föregick det under 1980-talet. Investeringarna som gjordes inom programmen fick en styrande och strukturerande verkan på forskningssystemet. Forskningen inom materialvetenskap och materialteknik fortsatte till stor del att utvecklas efter de utvecklingslinjer som intagits under 1990-talet.

Samtidigt som forskningen koncentrerades till ett antal tongivande grupper breddades innehållet. Möjligheterna att tillverka, manipulera och analysera strukturer på submikronskala och nanoskala öppnade upp nya forskningsområden under 1990-talet. Med minskningen av längdskalorna började allt fler forskare karakterisera sin verksamhet som nanovetenskap och nanoteknologi. En annan tydlig trend, som det finns anledning att lyfta fram, var det ökade inslaget av teori och simulering/ modellering i materialvetenskapen. Förbättrade analysmetoder i kombination med en teoretisk utveckling och ökad tillgång på datorkraft innebar att avståndet mellan teoretisk och experimentell forskning minskade. Allt fler forskargrupper inkluderade teoretisk analys och datorbaserad simulering som ett redskap i sin verksamhet. En tydlig kontinuitet kan ses i projekt och program under den här tiden. Man kan se huvuddragen i dagens svenska materialvetenskap vid universitet och högskolor i den forskningsstruktur som etablerats mot slutet av 1990-talet. De nya forskningsinriktningar som tog form gjorde det många gånger som fördjupningar och vidareutvecklingar av befintliga forskningsprogram. Materialkonsortierna fyllde, som vi sett i förra kapitlet, en viktig funktion i detta avseende. Noteras bör även hur viktigt det varit för Sveriges relativa framgång internationellt att forskargrupper kommit att samarbeta över ämnes- och fakultetsgränser, inte sällan också mellan lärosäten.

Utbyggt stöd till strategiska forskningsmiljöer

Finansiering av strategiska spetsforskningsmiljöer blev ett nytt inslag i det reformerade svenska forskningsfinansieringssystem som tog form under 1990-talet. I detta avseende ansluter Sverige till ett internationellt forskningspolitiskt mönster. Liknande satsningar fanns i flera andra länder. Förebilder till kompetenscentrumprogrammet, som i viktiga delar byggde vidare på materialkonsortierna, fanns internationellt dessutom i Storbritannien och framförallt USA. Flera europeiska länder som Tyskland och Danmark hade liknande program och även inom EU skedde satsningar. Finansiering av forskning genom tvärvetenskapliga centrumbildningar förblev viktiga inslag i

stödportföljerna hos Vinnova och SSF. Kompetenscentrumprogrammet förlängdes under nytt namn, VINN Excellence Centres, men med i stort sett oförändrat innehåll.³⁸² Sammanlagt 19 centrum finansierades genom nya utlysningar 2005 och 2007. Stiftelsen för strategisk forskning breddade samtidigt sin satsning på strategiska forskningscentrum (SRC), från livsvetenskaperna till elektronik- och materialområdena.³⁸³

I internationell jämförelse var de resurser som svenska myndigheter och forskningsstiftelser satsade på centrumprogram dock relativt begränsade. Vinnova och SSF var länge ensamma med inriktningen i det svenska forskningssystemet. Vetenskapsrådet, under politisk press att förnya sina anslagsformer, planerade visserligen en satsning på centrumbildningar med grundforskningsinriktning med start under 2004, men med ganska blygsam omfattning. Finansieringsformen hade samtidigt hunnit bli viktig för flera svenska materialforskningsmiljöer. Några forskningsmiljöer fick stora på varandra följande anslag inom olika program. De två tydligaste exemplen är forskningen vid materialvetenskapliga institutionen på KTH och de centrumbildningar som skapats i anslutning till Institutionen för fysik och mätteknik (IFM) vid Linköpings universitet.

Materialvetenskapliga institutionen vid KTH, med starka band till svensk stålindustri, sticker ut som den i detta avseende enskilt kanske mest framgångsrika forskningsmiljön. Institutionen förestod materialkonsortiet CAMPADA och beviljades flera stora uppföljande anslag till forskning och forskarskolor. Brinellcentrum, en materialvetenskaplig forskarskola, finansierades genom SSF mellan 1997 och 2005. Stiftelsen finansierade dessutom ett forskningscentrum för datorbaserade termodynamiska beräkningar (CTT) som en vidareutveckling av delar av forskningen inom CAMPADA.³⁸⁴ Institutionen medverkade dessutom i Nuteks och Vinnovas program med två på varandra följande kompetenscentrum. Inom ramen för det ursprungliga kompetenscentrumprogrammet organiserades BRIIE (Brinell Center for Inorganic Interfacial Engineering) med finansiering mellan 1995 och 2004.³⁸⁵ Inom ramen för det förlängda kompetenscentrumprogrammet beviljades materialvetenskapliga institutionen 2007 ett nytt anslag av Vinnova för VINN Excellence Center HERO-M (Hierarchic Engineering of Industrial Materials).³⁸⁶ HERO-M leddes under de första fem åren av John Ågren, sedan tog Annika Borgenstam över.³⁸⁷ I efterhand kan man dra en tämligen rak linje från forskningen inom materialkonsortiet CAMPADA via centrum för termodynamiska beräkningar (CTT) till den senaste centrumbildningen HERO-M. En del forskning som initierades inom kompetenscentrum BRIIE har dessutom fortsatt

³⁸² Intervju med Lennart Stenberg den 11 december 2015.

³⁸³ Benner och Persson, "Forskningssamverkan i akademisk form", s. 170.

³⁸⁴ Uppgifter från SSF.

³⁸⁵ Hjorth, *The NUTEK Competence Centre Programme*; Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

³⁸⁶ *Second Evaluation of VINN Excellence Centers*, VINNOVA Report 2013:08 (Stockholm, 2013).

³⁸⁷ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

inom HERO-M, som dock har ett starkare inslag av termodynamisk modellering. Industriella partners i samtliga dessa satsningar har varit de stora svenska stålindustrierna.³⁸⁸

Stora anslag inom flera olika program gick samtidigt till Linköpings universitet, baserade på dess specialisering inom tunnfilmsområdet. Från slutet av 1990-talet har Lars Hultman lett flera på varandra följande stora program och centrumbildningar inom tunnfilmsområdet. Andra forskningscentrum vid Linköpings universitet kommer närmast ur forskningsinriktningar som etablerats av Ingemar Lundström och Olle Inganäs. Det gäller bland annat de centrum inom tryckt och organisk elektronik som byggts upp vid universitetet i Linköping och i Norrköping under ledning av Magnus Berggren sedan slutet av 1990-talet. Ett samarbete finns mellan Linköpings universitet och Karolinska institutet inom medicinsk nanoteknik. Inom biomaterialområdet bildade Chalmers och Göteborgs universitet tillsammans med Uppsala universitet ett Vinn Excellence Center, BIOMATCELL, som fortsättning på de stora satsningarna under 1990-talet.

Stora delar av den svenska materialforskningen stod emellertid vid sidan om programmen. En gemensam nämnare mellan de forskargrupper som lyckades attrahera mest resurser inom de Vinnova-finansierade centrumprogrammen var gruppernas tydliga industrikopplingar. De allra tydligaste exemplen är materialvetenskapen vid KTH och Linköpings universitet som diskuterats ovan. Vinnovas kompetenscentrum (första och andra generationen) ställde krav på industriell motfinansiering. Strategiska forskningsstiftelsens program hade mindre krav på industrimedverkan, vilket vidgade kretsen av möjliga medelsmottagare till mer grundforskningsinriktade grupper. Samtidigt blir det i ljuset av centrumsatsningarna tydligt att stora delar av den avancerade svenska materialvetenskapen saknade egentlig industriell motpart. Förutom grundforskningsinriktade miljöer handlade det om forskningsområden som internationellt hade tydliga tillämpningar, men där svensk industri saknades. Inom den kategorin hamnade mycket av forskningen om halvledarmaterial som byggts upp genom 1980- och 1990-talens stora satsningar. Industriellt hade det när mikroelektronikprogrammet löpte funnits förhoppningar om att inleda tillverkning av elektroniska kretsar och komponenter inom landet, men den svenska industrin avvecklade i allt väsentligt sina halvledarplaner under 1990-talet.

En del i förklaringen ligger i den tidigare forskningspolitikens inriktning. Materialvetenskapen och materialtekniken hade genom satsningar som materialkonsortieprogrammet, och ramprogrammen som föregick det, fått en tydlig inriktning mot avancerade material och grundläggande frågor. Mikroelektronikprogrammet hade syftat till industriell förnyelse, men den industriella basen och de tänkta mottagarna av forskningsresultaten hade avvecklat sin verksamhet. Industriforskningsinstitutet, som

³⁸⁸ Intervju med John Ågren den 14 september 2015.

tidigare hade stått för den industriellt orienterade materialforskningen, hade samtidigt tappat relativt i betydelse gentemot universitetens forskning. Sammantaget innebar detta att många av de starkaste svenska materialvetenskapliga miljöerna var hänvisade till kortsiktiga anslag för sin finansiering. Internationellt skedde samtidigt en utveckling där stora delar av den mest kvalificerade tekniska och naturvetenskapliga forskningen bedrevs vid ett begränsat antal forskningsinstitutioner med långsiktig inriktning och koncentrerade resurser. En alltmer spridd uppfattning var att centrummodellen borde byggas ut och breddas för att svensk forskning inte skulle tappa konkurrenskraft internationellt.³⁸⁹

En utredning tillsattes 2004 under ledning av rektorn för Stockholms universitet, Bertil Andersson, för att belysa den svenska finansieringen av strategiska forskningsmiljöer mot bakgrund av internationella forskningspolitiska tendenser. Utredningen ingick som en del i förarbetena till forskningspropositionen 2004 och kom att få stort genomslag.³⁹⁰ Dels kortsiktigt genom de nya program som inleddes de följande åren, dels mer långsiktigt genom att slutsatserna och resonemangen förebådade de satsningar på strategiska forskningsområden som genomfördes av den borgerliga regering som tillträdde hösten 2006. Bakom utredningen fanns den forskningspolitiska ambitionen att hitta en balans mellan individuella forskningsanslag och en samlad finansiering av starka forskningsmiljöer. Den bärande delen av utredningens resonemang bestod i en jämförelse mellan svenska finansiärers centrumsatsningar och internationella motsvarigheter. Erfarenheter från det amerikanska forskningssystemet gav viktiga impulser till 1990-talets satsningar på svenska centrumbildningar. Bertil Anderssons utredning gjorde en bred genomgång av de olika centrumprogram som under samma period inletts i olika OECD-länder. Speciellt lyftes i utredningen fram ett tyskt program, Sonderforschungsbereiche (SFB), som det centrala tyska forskningsrådet, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), drivit under lång tid med stor framgång.³⁹¹

Programmet, som successivt hade byggts ut sedan starten 1968, var omfattande. Närmare 30 procent av den totala budgeten hos DFG var avdelad till programmet. Under 2002 finansierades 300 centrumbildningar med sammanlagt 339 miljoner euro, vilket innebar ett årligt anslag på cirka 10 miljoner kronor per centrum. Inom programmet fanns flera olika instrument. Mest omfattande var den ”klassiska” SFB-modellen där finansieringen inriktades mot geografiskt koncentrerade centra, vanligen med sin bas i ett enda universitet eller ett konsortium av närliggande universitet i en stad eller region. Huvuduppgiften för dessa centra var att bedriva ”excellent grundforskning”.³⁹² Inom programmet finansierades dessutom nätverk av geografiskt

³⁸⁹ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer: En internationell utblick* (Stockholm, 2004)

³⁹⁰ Prop. 2004/05:80, *Forskning för ett bättre liv*.

³⁹¹ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer: En internationell utblick* (Stockholm, 2004).

³⁹² DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 23–24.

spridda grundforskningsenheter vid flera olika universitet och institut. Ett tredje instrument utgjordes av SFB-centrum som skulle stimulera till samarbeten mellan universitet och industri.³⁹³ Syftet med programmet var att genom långsiktiga satsningar stärka framförallt universitetsforskningen. Andra forskningsinstitutioner, som de tyska forskningsinstituterna, kunde delta, men endast som samarbetspartners. Finansieringsperioden var normalt hela 12 år, med utvärderingar var fjärde år.³⁹⁴

Liknande utformade instrument, med centrumbildningar också inom grundforskningsområdet, fanns även i andra länder.³⁹⁵ I det svenska systemet saknades de emellertid nästan helt. Utredningen lyfte visserligen fram Nuteks och Vinnovas industriinriktade kompetenscentrum och strategiska stiftelsens forskningscentrum som lyckade satsningar, men de kunde inte fylla denna lucka.³⁹⁶ Ingen direkt kritik riktades mot Vetenskapsrådet, men det är uppenbart att en del av udden i resonemangen var riktade mot rådets traditionella prioritering av enskilda och individuella forskningsanslag:

Internationellt kan man identifiera tre typer av centrumbildningar; de som är helt öppna för alla forskningsområden..., de som är inriktade mot strategiska forskningsområden (dock ofta med stora inslag av grundforskning) till exempel nanoteknologi, materialvetenskap, "life science", ICT eller biomedicin, samt slutligen centra med ansvar för industrinära forskning och innovation. Noterbart är att Sverige vid en internationell jämförelse har mycket begränsade resurser mot den första typen av centra. Finansieringsgraden av strategiska centra och innovationscentra är bättre på grund av insatser från SSF respektive Vinnova. Det bör sannolikt finnas ytterligare potential till omfördelning av resurser mot centrumfinansiering hos Vetenskapsrådet och en sådan process har redan startat. Nya resurser som eventuellt kan allokeras till starka forskningsmiljöer i samband med kommande forskningspolitiska propositioner bör dock i första hand skapa förutsättningar att etablera centrummiljöer inom alla forskningsområden enligt till exempel modellen "Sonderforschungsbereiche" i Tyskland. Detta utesluter inte att det finns behov av att ytterligare förstärka också Vinnovas mer industrinära kompetenscentra.³⁹⁷

För att åstadkomma detta krävdes omprioriteringar, men framförallt ökade resurser. Rekommendationen var att den svenska finansieringen av strategiska spetsforskningsmiljöer skulle lyftas till genomsnittet för jämförbara industriländer, vilket handlade om mellan 10 och 15 procent av den samlade forskningsrådsbudgeten som i Sverige låg på

³⁹³ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 24.

³⁹⁴ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 24.

³⁹⁵ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*.

³⁹⁶ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*.

³⁹⁷ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 37.

omkring 4,5 miljarder. Befintliga svenska satsningar, huvudsakligen kompetenscentrumprogrammet, uppgick till omkring 240 miljoner kronor årligen. Till detta kom de runt 100 miljoner kronor som strategiska forskningsstiftelsen satsade på sina forskningscentra. Mellanskillnaden på 200 till 435 miljoner kronor borde enligt Andersson tillföras finansieringsformen, beroende på ambitionsnivån och hur strategiska forskningsstiftelsens bidrag (som formellt låg utanför statens forskningsbudget) skulle räknas.³⁹⁸ Sammantaget borde finansieringen ske enligt formeln ”trippel 10” – 10 procent av landets forskningsrådsbudget samt anslagsperioder om 10 år med 10 miljoner kronor finansiering per centrum.³⁹⁹

I regeringens forskningsproposition, *Forskning för ett bättre liv*, som överlämnades till riksdagen i mars 2005 fick Anderssons utredning stort utrymme även om nytillskotten blev betydligt mindre än de föreslagna. Sammanlagt anslogs 300 miljoner kronor under treårsperioden 2006 till 2008 fördelat på de tre forskningsråden och Vinnova som förstärkt stöd till starka forskningsmiljöer. Merparten gick till Vetenskapsrådet, som fick 210 miljoner kronor eller motsvarande 70 miljoner kronor per år, till nya program. Vinnovas budget på området utökades med 60 miljoner kronor över fyra år.⁴⁰⁰ Forskningspropositionens prioritering av strategiska forskningsmiljöer, med tillkommande finansiering, ledde till flera nya forskningsprogram. Vinnova gick, som redan nämnts, vidare med sin planerade förlängning av kompetenscentrumprogrammet med i stort oförändrad inriktning med utlysningar 2005 och 2007 under det nya namnet VINN Excellence Centers. Sedan tidigare fanns Berzeliicentrum, ett andra generationens kompetenscentrum i samarbete mellan Vinnova och Vetenskapsrådet.⁴⁰¹

Nyheten var emellertid Linnéprogrammet som inrättades i samarbete mellan Vetenskapsrådet och Formas. Inriktningen var helt i linje med rekommendationerna i Bertil Anderssons utredning. Satsningen riktades mot ”strategiska och internationellt konkurrenskraftiga” forskargrupper med bas vid svenska universitet och grundforskning inom alla vetenskapsområden. Medlen skulle ses som komplement till universitetens basresurser och stöd till traditionella forskarinitierade projektet. Finansieringen var långsiktig. Stöd kunde erhållas i upp till 10 år utan ny ansökan med mellan 5 och 10 miljoner kronor per år. En första omgång Linnébidrag beviljades 2006 – sammanlagt 20 forskningsmiljöer och åtta forskarskolor. En andra stödomgång utlystes 2008. Finansieringen kom huvudsakligen från Vetenskapsrådet som satsade 130 miljoner kronor årligen. Medlen kom dels från de nytillskott som regeringen skjutit till, dels

³⁹⁸ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 36–37.

³⁹⁹ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 35.

⁴⁰⁰ Prop. 2004/05:80, *Forskning för ett bättre liv*, s. 88.

⁴⁰¹ Vinnova, *First evaluation of the Berzelii Centra Programme*, Vinnova Report VR 2009:03 (Stockholm, 2009).

omprioriteringar mellan anslagsformer. Formas bidrag med ytterligare 10 miljoner kronor.⁴⁰²

I den första utlysningen 2006 beviljades anslag till tre centrum och två forskarskolor inom materialvetenskap och nanovetenskap. Det motsvarade 15 procent av anslagen och 25 procent av forskarskolorna. Anslagen gick till tre av de mest profilerade svenska forskningsmiljöerna vid Chalmers i Göteborg samt universiteten i Linköping och Lund. I Linköping beviljades en konstellation under ledning av tunnfilmsspecialisten Lars Hultman, med medverkan av en bred skara materialforskare vid Linköping, medel för ett projekt om funktionella material – Linköping Linnaeus Initiative for Novel Functional Materials (LiLi-NFM). Mer inriktade mot nanoteknologi var de projekt som gick till grupper under ledning av Lars Samuelson vid Lunds universitet, Nanoscience and Quantum Engineering at Lund University (NanoQE), och Per Delsing vid Chalmers, Linnaeus Center of Engineered Quantum Systems (LINNEQS). Till projekten i Lund och vid Chalmers knöts dessutom forskarskolor. Intressant att notera är att alla tre forskningsmiljöerna hade relativt tydliga föregångare i tidigare material- och mikroelektronikprogram och att de alla senare skulle komma att bilda en viktig del av stommen i senare strategiska forskningsområden.⁴⁰³

Det skiljer dem från en fjärde Linnémiljö, Centre for Bio-inspired Supramolecular Function and Design (SUPRA) vid Chalmers, som beviljades anslag i den andra utlysningen 2008 och som till stor del formerades runt en ny konstellation. En viktig del av syftet med centrumbildningen var att samla den kompetens inom ”mjuka material” som byggts upp vid Chalmers. SUPRA var ett samarbete mellan forskare inom kemi och fysik med inriktning mot supramolekylära system under ledning av Bengt Nordén.⁴⁰⁴ Ett forskningscentrum inriktat mot materialkemisk forskning om porösa material, Berzelii Center EXSELENT, etablerades 2007 vid Stockholms universitet. Satsningen löpte på tio år fram till 2016 och ingick som en del i Vinnovas och Vetenskapsrådets gemensamma Berzeliiprogram.⁴⁰⁵

⁴⁰² Vetenskapsrådet, *First evaluation of the 2008 Linnaeus grants: Report from the evaluation panel*, Vetenskapsrådets lilla rapportserie 7:2010 (Stockholm, 2010), s. 7.

⁴⁰³ Vetenskapsrådet, *First evaluation of the 2008 Linnaeus grants: Report from the evaluation panel*, Vetenskapsrådets lilla rapportserie 7:2010 (Stockholm, 2010); Vetenskapsrådet, *Mid-term evaluation report of the 2006 Linnaeus environments and doctoral programmes*, Vetenskapsrådets lilla rapportserie 4:2012 (Stockholm, 2012).

⁴⁰⁴ Vetenskapsrådet, *First evaluation of the 2008 Linnaeus grants: Report from the evaluation panel*, Vetenskapsrådets lilla rapportserie 7:2010 (Stockholm, 2010); Vetenskapsrådet, *Mid-term evaluation report of the 2006 Linnaeus environments and doctoral programmes*, Vetenskapsrådets lilla rapportserie 4:2012 (Stockholm, 2012).

⁴⁰⁵ Vinnova, *First evaluation of the Berzelii Centra Programme*, Vinnova Report VR 2009:03 (Stockholm, 2009).

Strategiska forskningsområden

Att det svenska forskningssystemet borde utveckla en sammanhållen strategi för att skapa starka forskningsmiljöer vid högskolor och universitet var en bärande tanke bakom de utökade satsningar på strategiska spetsforskningscentrum som skildrats ovan. Bertil Andersson hade i sin utredning 2004 anfört såväl inomvetenskapliga som forskningsstrategiska argument för en sådan kraftsamling. Många av framtidens komplexa vetenskapliga problem skulle kräva en ”koncentration av kompetens och vetenskapliga resurser samt multi- eller interdisciplinära angreppssätt.” Samtidigt skulle en sådan tydlig politisk strategi kunna fungera ”som en stark stimulans och drivkraft för ökad profilering av de svenska lärosätena.” Målet borde med andra ord vara att skapa en ökad specialisering inom det svenska universitetssystemet, som nödvändiggjorts av den internationella konkurrensen.⁴⁰⁶

Det som Bertil Andersson efterlyste var en ny slags långsiktig basfinansiering för universitet och högskolor, som skulle kunna fungera som ”konkurrensutsatta fakultetsmedel”.⁴⁰⁷ Tankarna återkom i den nya regeringspolitik på forskningsområdet som utformades efter den borgerliga valsegern hösten 2006. Drivande i processen var utbildningsdepartementet och dess nya statssekreterare Peter Honeth.⁴⁰⁸ I forskningspropositionen 2008 aviserade regeringen vad den kallade ”strategiska satsningar” som ett nytt inslag i svensk forskningsfinansiering. Satsningarna skulle kombinera forskningsrådets noggranna kvalitetsgranskning med fakultetsmedlens långsiktighet. I likhet med Linnéstödet var målet kraftsamling och resurskoncentration i syfte att åstadkomma internationellt konkurrenskraftiga forskningsmiljöer. En skillnad var dock att regeringens nya satsning sades rikta sig mot forskningsområden av starkt samhällsintresse.⁴⁰⁹ Vägledande i urvalet skulle vara tre kriterier:

- Forskning som kan medverka till att finna lösningar på angelägna globala problem och frågeställningar
- Områden där Sverige redan har forskning av världsklass
- Områden där det finns svenska företag som bedriver egen forskning och utveckling och där statens insatser stärker näringslivets och Sveriges utveckling och konkurrenskraft.⁴¹⁰

Kontinuiteten med tidigare satsningar betonades alltså, men den politiska retoriken bakom programmets inriktning visade sig många gånger svår att förverkliga och realisera i praktisk handling. Samtidigt innebar de strategiska forskningsområdena ett

⁴⁰⁶ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 36.

⁴⁰⁷ DS 2004:21, *Finansiering av starka forskningsmiljöer*, s. 36.

⁴⁰⁸ Intervju med Ulf Holmberg.

⁴⁰⁹ Proposition 2008/09: 50, *Ett lyft för forskning och innovation*, s. 24.

⁴¹⁰ Proposition 2008/09: 50, *Ett lyft för forskning och innovation*, s. 24.

betydande kvantitativt resurstillskott, väsentligt större än de medel till nya centrum-bildningar som följde på forskningspropositionen 2004. Sammanlagt avsattes knappt 2,7 miljarder under perioden fram till och med 2012. Medlen skulle fördelas ut till universitet och högskolor genom en stegvis anslagshöjning – 15 miljoner under 2009, ytterligare 500 miljoner respektive 300 miljoner kronor under 2010 och 2011 innan finansieringen med en sista ökning på 500 miljoner kronor under 2012 nådde den beslutade nivån 1 315 miljoner kronor årligen.⁴¹¹

Regeringens beslut gällde ett tjugotal strategiska forskningsområden, som spände över ett brett spektrum av vetenskapsområden, med den gemensamma nämnaren att de bedömdes ha strategisk betydelse för svenskt näringsliv och samhälle.⁴¹² En stor andel av medlen, sammanlagt omkring 11 procent, gick till materialvetenskapen och materialtekniken – som i bred mening – blev föremål för två forskningsområden: materialvetenskap, inklusive funktionella material (125 miljoner kronor under 2009-12), samt nanovetenskap och nanoteknik (155 miljoner kronor under 2009-12). Uppdelningen i nanovetenskap och materialvetenskap hade en motsvarighet i EU:s sjunde ramprogram, men den innebar också att forskningsfältet som helhet fick en stor andel av programmets resurser. Beslutsprocessen var snabb. Ett direktiv till de berörda myndigheterna gick ut i december 2008, två månader efter att forskningspropositionen överlämnats till riksdagen, om att utlysa och bedöma förslag till strategiska forskningsområden. Senast den 15 juni 2009 ville regeringen ha utvärderingarna och bedömningarna på sitt bord. Därefter skulle regeringen i budgetpropositionen föreslå fördelningen av medel till universitet och högskolor för 2010 och bedöma fördelningen av medel för 2011 och 2012.⁴¹³

Massa- och pappersforskningen lämnades utanför satsningen och blev inte föremål för ett strategiskt forskningsområde. Istället bildades 2009 en separat centrumbildning, Wallenberg Wood Science Center (WWSC), som ett samarbete mellan KTH och Chalmers med stöd av skogsindustrin och finansiering genom Knut och Alice Wallenbergs stiftelse. Budgeten var 120 miljoner kronor för de tre första årens verksamhet fram till 2011 och syftet med centrumbildningen var att utveckla nya och avancerade material baserat på skogsråvara. Föregångare till programmet fanns i forskningscentrumen BiMac och BiMac Innovation, som ingick i Vinnovas Vinn Excellence program.

⁴¹¹ Proposition 2008/09: 50, *Ett lyft för forskning och innovation*, s. 70.

⁴¹² Dessa var: Politiskt viktiga geografiska regioner; Energi; Hållbart nyttjande av energiresurser; Effekter på naturresurser, ekosystemtjänster och biologisk mångfald; Klimatmodeller; Havsmiljöforskning; Molekylär bioteknik; Stamceller och regenerativ medicin; Diabetes; Neurovetenskap; Epidemiologi; Cancer; Värdforskning; Nanovetenskap och nanoteknik; E-vetenskap; Materialvetenskap; Produktionsteknik; IT och mobil kommunikation; Transportforskning; Säkerhet och krisberedskap.

⁴¹³ Regeringsbeslut I 29, Näringsdepartementet, Uppdrag om utlysning, utvärdering och bedömning av strategiska forskningsområden, 2008-11-27.

En kritik som riktades mot satsningen var att kraven på vetenskaplighet och industri-kontakter satts så högt att det i praktiken kraftigt begränsade antalet möjliga sökanden. I utlysningen om strategiska forskningsområden inom nanovetenskap och nanoteknologi inkom endast fem förslag. Förutom de två tekniska högskolorna, KTH i Stockholm och Chalmers i Göteborg, kom ansökningar från universiteten i Linköping, Uppsala och Lund. Linköpings universitet gick ihop med Karolinska institutet i Stockholm.⁴¹⁴ Ett bredare spektrum av förslag inkom inom det strategiska forskningsområdet materialvetenskap och funktionella material. Konstellationerna var något annorlunda. I Stockholm och Göteborg gick universiteten och de tekniska högskolorna ihop om två förslag tillsammans med industriforskningsinstitut.⁴¹⁵ Linköpings universitet formulerade en ansökan på egen hand. Lunds universitet och Uppsala universitet skrev en gemensam ansökan, till stor del baserad på samarbetet inom synkrotronljusområdet. Dessutom inkom förslag från Luleå tekniska universitet, med tonvikt på kompositmaterial, Linnéuniversitetet samt Jönköpings tekniska högskola, som bedrev materialvetenskaplig forskning inom gjuteriområdet tillsammans med svensk tillverknings- och fordonsindustri.⁴¹⁶

Det är intressant att titta närmare på förslagen mot bakgrund av de tidigare kapitlens skildring av den svenska materialvetenskapens utveckling. Materialvetenskapen och den materialtekniska forskningen i Sverige har historiskt inte utgjort något sammanhängande forskningsfält. Disciplinen konvergerade sent, till stor del genom 1980- och 1990-talets forskningssatsningar på materialområdet. Forskningen bedrivs fortfarande i grupper och miljöer, var historiska bakgrund tydligt syns i deras struktur och organisatoriska hemvist. Uppgiften för universiteten blev mot denna bakgrund att lyfta fram sina styrkeområden och inordna dessa i det gemensamma ramverk som utgjordes av ansökan. Forskargrupperna blev tillsammans med universitetens centrumbildningar, som fick ett stort utrymme i argumentationen, byggstenarna i universitetens ansökningar. Centrumbildningarna utgjorde dels möjligheter att visa på strategisk relevans och industrikopplingar, dels universitetens förmåga att skapa samarbeten i bredare tvärvetenskapliga konstellationer, internt inom sin egen organisation och externt med samarbetspartners inom industri och institut. Skillnaden mellan materialvetenskap och nanovetenskap var inte alltid tydlig. Flera viktiga forskargrupper och tongivande forskare ingick i universitetens båda förslag till strategiska forskningsområden.

⁴¹⁴ Förslag till strategiskt forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, *NanoMedicine for Future Health*; Förslag till strategiskt forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, *An Initiative for Nanoscience and Nanotechnology at KTH*; Förslag till strategiskt forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, *Chalmers nano-initiative*.

⁴¹⁵ Förslag till strategiskt forskningsområde inom materialvetenskap, *The Stockholm Materials Center*; Förslag till strategiskt forskningsområde inom materialvetenskap, *Strategic Initiative – Materials Science*.

⁴¹⁶ Förslag till strategiskt forskningsområde materialvetenskap, *Composite Materials Science*; Uppgifter från Vinnova.

Att Uppsala och Lunds universitet gick samman om ett gemensamt förslag inom materialområdet förklaras med deras gemensamma intresse i synkrotronljusforskning. Lunds universitet förestår den svenska synkrotronljuskällan MAX Lab, men en stor del av de bidragande forskarna har sin institutionella hemvist vid Uppsala universitet, med djupa vetenskapliga traditioner inom elektronspektroskopi. Förslaget kom därför att bygga mycket på den gemensamma kompetensen inom karaktärisering och analys. Dessutom betonades kunnandet inom teori och modellering.⁴¹⁷ Inriktningen hos forskningen var mot funktionella material för energilagring och energiproduktion, till stor del med utgångspunkt i Uppsala universitets starka forskning inom områden som solceller och batterimaterial. Lunds universitets andra förslag, inom nanovetenskap och nanoteknologi, baserades till stor del på utbyggd finansiering av nanometerkonsortiet, som verkat sedan slutet av 1980-talet.⁴¹⁸ Uppsala universitet skrev ett eget förslag inom nanoområdet om forskning inom medicinska tillämpningar.⁴¹⁹ Linköpings universitet gick in med en egen ansökan inom avancerade funktionella material. Tyngdpunkten var kunnandet inom ytteknik och tunnfilmsteknik med ett brett spektrum av delprojekt inom bland annat slitstarka ytbeläggningar och nya elektroniska material.⁴²⁰

Svårigheterna att skriva sammanhållna förslag märks tydligast hos de två stora tekniska högskolorna. Medan framförallt Linköpings universitet, men även Lund och Uppsala, hade en ganska tydligt profilerad materialvetenskap, som gjorde inriktningen på ansökningarna tämligen naturlig, var forskningsbasen vid KTH och Chalmers betydligt bredare. KTH och Chalmers stod båda inför uppgiften att knyta samman sin historiskt starka forskning inom olika ”klassiska” material, med nyare inriktningar som sprungit ur bland annat ytvetenskap och materialfysik. En stor del av den svenska institutsektorn – vars uppgift i det svenska forskningsystemet under efterkrigstiden till stor del handlat om materialteknisk forskning mot industrins behov – var dessutom belägen i anslutning till de tekniska högskolorna. Sammantaget yttrade sig detta i ganska breda och löst sammanfogade förslag, samtidigt som samarbetet med industri och institut inom ramen för universitetens olika strategiska centrumbildningar betonades.⁴²¹

Utvärderingen av förslagen skedde genom internationella expertgrupper som rankade förslagen utefter bedömningskriterier som faststälts av de svenska myndigheter som samordnade processen. Vinnova ansvarade för utvärderingen inom det materialvetenskapliga området i samråd med Vetenskapsrådet. För nanovetenskap och nanoteknologi

⁴¹⁷ Förslag till strategiskt forskningsområde inom materialvetenskap, *Lund-Uppsala Functional Materials Initiative (LUMINI)*.

⁴¹⁸ Förslag till strategiskt forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, *The Nanometer Structure Consortium at Lund University*.

⁴¹⁹ Förslag till strategiskt forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, *LINEUP – Life Science Nanotechnology in Uppsala*.

⁴²⁰ Förslag till strategiskt forskningsområde inom materialvetenskap, *International Interdisciplinary Materials Science Laboratory for Advanced Functional Materials (AFM)*.

⁴²¹ Se förslagen från KTH och CTH.

var arbetsfördelningen den motsatta – Vetenskapsrådet hade huvudansvaret, men fick hjälp av Vinnova i utvärderingen.⁴²² Rekommenderade finansiering blev Linköpings universitet och Chalmers inom materialområdet.⁴²³ Chalmers fick dessutom ett forskningsområde inom nanovetenskap och nanoteknologi, medan det andra gick till Lunds universitet.⁴²⁴ Motiveringarna och rekommendationerna styrktes med relativt utförliga resonemang, som ger en intressant inblick i hur bedömargrupperna såg på den svenska material- och nanovetenskapen och dess inbördes förhållanden. Inom det materialvetenskapliga området var det Linköpings förslag som rankades allra högst, som klar etta. Bedömargruppen lyfte speciellt fram de starka vetenskapliga meriterna inom de fyra bärande områdena – tunnfilmsfysik, teori och modellering, funktionella elektroniska material och molekylärfysik – liksom den vetenskapliga miljön, som legat till grund för flera tidigare centrumbildningar. Man kan här konstatera att samma faktorer som bidragit till framgång i konkurrensen om strategiska forskningscentrum, bland annat en organisatoriskt väl sammanhållen materialforskning, också gynnade Linköpings universitet i dragkampen om konkurrensutsatta fakultetsmedel.⁴²⁵

I konkurrensen om det andra materialområdet vägde det jämnt mellan Chalmers och KTH.⁴²⁶ Det som möjligen fällde avgörandet var att Chalmers hade ett mer genomarbetat förslag. Tre forskningsområden – mjuka och supramolekylära material, funktionella ytor och gränsskikt samt karaktärisering och modellering – relaterades till övergripande forskningsmål om hälsa, uthållighet och energiteknologi. Förslaget skulle utnyttja styrkan hos de olika forskargrupperna, samtidigt som det stimulerade till samarbete mellan grupperna och över disciplinrännerna. Dessutom var integrationen av materialvetenskapen vid Göteborgs universitet och Chalmers, enligt bedömargruppen, mer utvecklad än den var mellan Stockholms universitet och KTH.⁴²⁷ Uppsala och Lunds universitets gemensamma förslag fick i grunden goda vitsord, samtidigt som utvärderarna konstaterade att det var tydligt teknikdrivet och orienterat mot karaktärisering. Förslaget rankades på fjärde plats.⁴²⁸

Intressant att notera är att de konkurrensutsatta fakultetsmedlen inom material- och nanoområdena gick till de universitet som redan hade Linnémiljöer inom områdena, vilket illustrerar centrumbildningarnas betydelse. Om man lyfter blicken och tittar på materialforskningens ursprung i ett längre tidsperspektiv, ser man dessutom att framförallt Linköping och Chalmers men även Lund delar en gemensam vetenskaplig tradition av materialvetenskap till stor del sprungen ur fasta tillståndets fysik och speciellt ytfysik.

⁴²² Utlysning strategiska forskningsområden, 2009-02-04.

⁴²³ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom Materialvetenskap, inklusive funktionella material.

⁴²⁴ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom nanovetenskap och nanoteknologi.

⁴²⁵ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom Materialvetenskap, inklusive funktionella material.

⁴²⁶ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom Materialvetenskap, inklusive funktionella material.

⁴²⁷ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom Materialvetenskap, inklusive funktionella material.

⁴²⁸ Slutgiltiga yttranden: Expertpanelen inom Materialvetenskap, inklusive funktionella material.

Avslutning

Denna studie har undersökt materialvetenskapens etablering vid svenska universitet med tonvikt på perioden från 1970-talet och fram till idag. Syftet har varit att förklara strukturen hos dagens svenska materialvetenskap genom att studera dess historiska framväxt. I detta avslutande avsnitt renodlas några av de centrala dragen i den svenska utvecklingen. För att göra det ska vi knyta an till inledningens diskussion. Där identifierades med utgångspunkt i den vetenskapshistoriska och vetenskaps sociologiska litteraturen ett antal faktorer som karakteriserat materialvetenskapens utveckling internationellt, framförallt i ett amerikanskt sammanhang. Dessa var teknikens och instrumenteringens betydelse, politiken och forskningsfinansieringen samt industrins roll och relationen mellan industriell och akademisk forskning.

Framställningen har framförallt fokuserat på de fem ledande universiteten med verksamhet inom materialområdet. Det handlar om universiteten i Linköping, Uppsala och Lund samt om de tekniska högskolorna i Stockholm och Göteborg. Materialvetenskapliga institutioner finns idag vid flera svenska universitet och högskolor, men en stor del av den svenska materialvetenskapen bedrivs inom bredare tvärvetenskapliga konstellationer som dessutom omfattar institutioner inom bland annat fysik och kemi. Det finns renodlade professorer i materialvetenskap, men flertalet av de tongivande materialvetare som har lyfts fram i denna studie har sina professorer inom andra forskningsområden och vetenskapliga specialiseringar. Materialvetenskapen har utvecklats genom att forskare från olika vetenskapliga discipliner, mot bakgrund av den internationella vetenskapliga utvecklingen, byggt upp forskargrupper och samarbeten inom och mellan universitet och forskningsinstitut.

En grundläggande faktor som har lyfts fram i studien är de internationella kontakternas betydelse. Materialvetenskapen vid svenska universitet etablerades och formades i betydande grad genom influenser från universitet och forskningsinstitutioner i framförallt USA. Forskningsutbyten skedde redan tidigt under 1950-talet när materialvetenskapen formerades som akademisk disciplin. Ett bredare och mer omfattande inflöde av idéer och erfarenheter tog sin början under 1970-talet, som framstår som ett formativt skede i den svenska materialvetenskapens utveckling. De vetenskapliga inriktningar och specialiseringar som etablerades under den här perioden lade grunden till mycket av den fortsatta utvecklingen under 1980- och 1990-talen. Kontakterna underlättades av att det redan fanns starka svenska forskningstraditioner inom flera av de vetenskapliga discipliner som internationellt låg till grund för den moderna materialvetenskapens utveckling. Detta har givit materialvetenskapen en olikartad utveckling vid de fem universitet som studerats, med deras olika inriktning

och profilering. Medan materialvetenskapen vid Linköpings och Lunds universitet och även Chalmers tog sin utgångspunkt i framförallt forskning inom fysik, byggdes materialvetenskapen i KTH upp på universitetets ingenjörsvetenskapliga och industriella bas. De starkaste forskargrupperna fanns inom framförallt metallurgi och metalliska material och polymerteknologi. I Uppsala har forskningen inom elektron-spektroskopi varit tongivande.

Tekniken – Sambandet mellan materialvetenskapens etablering vid svenska universitet och investeringar i instrument och infrastruktur har diskuterats i studien. Bensaude-Vincent menar att den tekniska utvecklingen har bidragit till att forma materialvetenskapen i framförallt två viktiga avseenden. Dels genom att framsteg inom instrumentteknik har bidragit till att öppna upp nya forskningsområden, dels genom att det till stor del varit runt laboratorier och teknisk infrastruktur som materialvetenskapliga gemenskaper uppkommit, där forskare från olika vetenskapliga discipliner samlats utifrån ett gemensamt intresse i problem och frågeställningar runt material. Till detta kommer en snabb teoretisk utveckling som bygger på datorkraft och som genom möjligheter till simulering och modellering har minskat avståndet mellan teoretisk och experimentell forskning.

Detta mönster kan ses i ett svenskt sammanhang. Introduktionen av nya materialvetenskapliga forskningsinriktningar har till stor del skett genom tillämpningar av nya tekniska metoder för analys, karaktärisering och framställning av material. Internationella kontakter med universitet och industriella forskningslaboratorier har varit centrala. Materialvetenskapens utveckling skedde många gånger genom intern specialisering inom befintliga och etablerade forskningsinstitutioner där ny och avancerad utrustning bildade stommen i materialvetenskapliga forskargrupper. Ångströmlaboratoriet i Uppsala byggdes exempelvis upp under 1990-talet för att samla vetenskaplig utrustning och instrument från flera institutioner, med materialvetenskap som central forskningsinriktning. Mikroteknologilaboratoriet i vid Chalmers, som bildades 2001, utgjorde en vidareutveckling av submikronlaboratoriet som byggdes upp under 1980-talet. Processen tog delvis andra vägar vid de nybildade universiteten och högskolorna. Materialvetenskapen i Linköping byggdes upp under 1970-talet, samtidigt som ämnet introducerades i det svenska forskningssystemet. Det skapade utrymme för profilering och specialisering och materialvetenskapen blev en gemensam kärna inom Institutionen för fysik och mätteknik (IFM). Nanometerkonstoriet i Lund samlar på samma sätt forskare inom framförallt kemi och fasta tillståndets fysik runt ett gemensamt laboratorium. Luleå tekniska universitet, som inte har undersökts inom ramen för denna studie, har med start under 1990-talet satsat på att bygga upp en materialvetenskaplig specialisering runt kompositmaterial.

Forskningsfinansieringen och politiken – Forskningsfinansieringens och politikens betydelse för materialvetenskapens formering och utveckling har lyfts fram i litteraturen. Det gäller den tidiga materialvetenskapens starka kopplingar till den

amerikanska försvarspolitiken, men även framväxten av centrumbildningar och mer industriellt inriktade civila program i USA under 1970- och 1980-talen. Forskningsprogram och statliga initiativ var viktiga även i ett svenskt sammanhang. Materialkonsortieprogrammets tillkomst och innehåll har behandlats utförligt. Det var den första större svenska forskningssatsningen helt inriktad mot materialvetenskaplig forskning. Det föregicks av ramprogram finansierade av STU under 1980-talet som utgjorde några av de tidigaste riktade satsningarna mot avancerade material. I finansiella termer var ramprogrammen i de flesta fall relativt blygsamma, men tillsammans med andra externa anslag från forskningsråd var de betydelsefulla genom det självständiga utrymme de skapade för entreprenöriellt lagda forskare, med kunskap om avancerade teknologier för materialforskning och internationella kontaktnät, att bygga upp nya forskningsinriktningar inom ramen för universitetens organisationer. Materialkonsortieprogrammet utgjorde ett viktigt steg i denna utveckling. Genom konsortierna samlades för första gången de olika grenarna inom svensk materialvetenskap i ett väl sammanhållet program. I den meningen utgjorde konsortiesatsningen under 1990-talet något av en vattendelare i den svenska materialvetenskapens utveckling – först efter programmet kan man säga att materialvetenskapen utgjorde en mer tydligt definierad disciplin i det svenska forskningssystemet. Forskningspolitiskt är programmet dessutom intressant genom dess tillkomst i samarbete mellan de tongivande svenska forskningsfinansiärerna. Inriktningen var huvudsakligen forskning om avancerade material med en tonvikt på fysiken – programmet utgick från universitetens forskningsinriktningar inom materialområdet och konsortierna inrättades i allmänhet vid de starkaste svenska universitetsmiljöerna.

Forskningsfinansieringens betydelse har till stor del handlat om de tekniska investeringar som de stora programmen möjliggjort. Satsningarna under 1980-talet riktades mot nya materialvetenskapliga forskningsområden som den tekniska instrumentutvecklingen öppnat upp. I anslutning till materialkonsortieprogrammet beviljades medverkande forskningsinstitutioner speciella utrustningsanslag, som underlättade utbyggnaden av moderna laboratorier med instrument och utrustning för avancerad materialvetenskaplig forskning.

I storlek stod emellertid materialkonsortieprogrammet (och i ännu högre grad de föregående ramprogrammen för kunskapsutveckling) i skuggan av de stora satsningar på forskning om mikroelektronik som den svenska staten gjorde med start runt 1980. Forskningssatsningarna på mikroelektronik under 1980-talet låg i linje med internationella trender. Ett viktigt motiv var att säkra en nationell tillverkningskompetens av elektroniska kretsar och komponenter. Säkerhetspolitiska intressen i nationell självförsörjning spelade retoriskt en viktig roll. Programmets omfattning var betydande. Investeringarna och de stora resurser som satsades på utbyggnad av renrum och vetenskaplig infrastruktur för mikrofabrikation och nanofabrikation lade en viktig del av grunden för den svenska materialvetenskapens utveckling i riktning mot nanovetenskap

under 1990-talet. Inriktningen hos programmen fick stor långsiktig betydelse genom det stigberoende som investeringarna skapade. Materialvetenskaplig forskning om halvledarmaterial inom fasta tillståndets fysik bedrevs i stor skala vid Lunds universitet, Uppsala universitet, Linköpings universitet och Chalmers i Göteborg. Denna slags forskning var inte lika starkt representerad vid KTH, som i samarbete med Institutet för mikroelektronik (IM) istället inriktade sin medverkan i programmen mot framställning av elektroniska komponenter och kretsar.

Studien har framförallt diskuterat de stora program som genomförts i regi av STU och naturvetenskapliga forskningsrådet. Mindre uppmärksamhet har riktats mot de bidrag som lämnats av andra forskningsfinansiärer. Till materialvetenskapens tekniska utbyggnad har inte minst Knut och Alice Wallenbergs stiftelse spelat en kritisk roll genom finansiering av strålrör vid synkrotronljusanläggningar, högupplösande elektronmikroskopi och annan kostsam utrustning. Det handlar om belopp om i storleksordningen flera miljarder inom materialområdet under den studerade perioden.

En tydlig forskningspolitisk ambition under 2000-talet har varit att koncentrera resurser till starka eller strategiska forskningsmiljöer. Motiveringen har varit behovet av en tydligare profilering av svenska universitet och högskolor mot bakgrund av den internationella konkurrensen. Inriktningen har varit kontroversiell, men materialvetenskapen och materialtekniken hör till de områden där de politiska ambitionerna faktiskt har satt avtryck. De viktigaste nya programmen har varit Linnéstödet och den följande satsningen på konkurrensutsatta och riktade fakultetsmedel inom strategiska forskningsområden (SFO) som den borgerliga regeringen initierade under 2008. Forskningspolitiken gynnade ett antal redan starka konstellationer vid ledande universitet. De tre universitet som redan hade Linnéstöd inom materialvetenskap och nanovetenskap var de som senare fick sina ansökningar om strategiska forskningsområden beviljade. Chalmers var den stora vinnaren med strategiska forskningsområden inom både materialvetenskap och nanovetenskap. Linköpings universitet och Lunds universitet beviljades strategiska forskningsområden inom materialvetenskap respektive nanovetenskap. Samtidigt hamnade KTH och Uppsala universitet, de två andra universiteten med stark materialvetenskap, vid sidan om programmen.

Ett gemensamt drag som Chalmers delar med Linköpings och Lunds universitet är att de alla har haft en betydande forskning inom det fasta tillståndets fysik och ytfysik som i någon mening kan sägas ha definierat och angivit tonen för materialvetenskapen vid dessa universitet. Detta skiljer dem från materialvetenskapen vid KTH, som i mindre utsträckning har präglats av fysiken. Forskningen vid KTH har istället haft en tydlig inriktning mot industriella problem och behov inom bland annat metalliska material och metallurgi. Inom mikroelektronikprogrammen var inriktningen snarare elektroniska komponenter och fotonik, snarare än halvledarmaterial. Besluten om strategiska forskningsområden ska här ses mot bakgrund av tidigare svenska forskningssatsningar,

inte minst konsortieprogrammet, som i stor utsträckning hade en fysikbaserad materialvetenskap som huvudinriktning.

Industrin – Materialforskningen inom industrin och relationen mellan industrins verksamhet och universitetens materialvetenskap har endast behandlats i liten utsträckning. Industrins materialforskning har en lång historia och verksamheten ser olika ut inom olika branscher. Materialvetenskapen har sitt ursprung i olika vetenskapliga discipliner, som konvergerade ganska sent och som måste studeras var för sig. En mer omfattande undersökning av industrins materialforskning hade inte varit möjligt i en begränsad studie som denna. Industrin har framförallt behandlats i relation till universitetens materialvetenskap.

Industrins behov av materialvetenskaplig forskning var inte det som i första hand drev de stora formativa forskningsprogram som löpte under 1980-talet. Visserligen motiverades programmets forskning industriellt och strategiskt, men det handlade då om försök att åstadkomma industriell förnyelse och om att skapa nya företag genom forskning om avancerade och funktionella material, inte om att samverka med befintlig industri runt problem av omedelbar betydelse. Forskarinflytandet i materialkonsortieprogrammet var stort. De vetenskapliga kriterierna var utslagsgivande i valet av konsortier. Industrins medverkan var begränsad, även om kravet på industrimedverkan betonades efterhand. Materialkonsortieprogrammet var inriktat mot den nya materialvetenskap som etablerats vid svenska universitet under 1970- och 1980-talen, medan den ingenjörsvetenskapliga materialforskningstraditionen med band till traditionell industriell verksamhet fick mindre utrymme. Detta har också konstaterats av tidigare forskning.⁴²⁹ Mikroelektronikprogrammets målsättning var till stor del att bygga upp universitetens forskning inom det fasta tillståndets fysik. Industriellt var förhoppningen att programmet skulle utveckla den svenska elektronikindustrin och stärka svensk halvledartillverkning. Det blev inte fallet. Programmets viktigaste effekt var istället den infrastrukturella uppbyggnad av renrum och utrustning för mikrofabrikation och nanofabrikation som redan har diskuterats.

Industriforskningsinstitutet har under de senaste decennierna marginaliserats i det svenska forskningssystemet. Forskningsinstitutet var ett viktigt inslag i det svenska tekniska forskningssystem som tog form efter krigsslutet. Uppgiften var att bedriva kollektiv forskning inriktad mot industrins behov, inte minst inom materialområdet. Institutet har sedan 1980-talet tappat mark. Institutssektorn har visserligen inte minskat i absolut storlek, men i relativ betydelse i takt med universitetens expansion. Under 1980- och 1990-talen stod forskningsinstitutets basanslag stilla i reala termer, samtidigt som universitetssystemet byggdes ut kraftigt. Denna tyngdpunktsförskjutning från institutet mot universitetet är kanske det allra tydligaste draget i den svenska materialforskningens utveckling de senaste decennierna. Huvuddelen av den mest

⁴²⁹ Persson, *Motsträviga myndigheter*.

avancerade svenska materialvetenskapens bedrivs idag vid universitetens institutioner. Institutet medverkar i projekt och centrumbildningar, men det är universiteten som driver utvecklingen och som anger forskningens inriktning.

Universitetens betydelse för industrin inom materialområdet handlar till stor del om utbildning av kvalificerade forskare och ingenjörer. Ett intressant uppslag för en uppföljande studie skulle kunna vara en undersökning av forskarutbildade materialvetares karriärvägar, vilket skulle kunna ge en bild av den svenska materialvetenskapens industriella kopplingar och samarbeten.

En annan intressant fråga är den svenska materialvetenskapens plats i det svenska forskningssystemet och konkurrenskraft internationellt. Flera tongivande materialforskare har gått vidare till karriärer som rektorer och ledande positioner vid stora svenska universitet under 1990- och 2000-talet. De allra tydligaste exemplen är Anders Flodström och Jan-Eric Sundgren som har lett Linköpings universitet och KTH respektive Chalmers. Flodström blev senare universitetskansler och före honom innehade Stig Hagström posten under 1990-talet. Andra materialvetare har avancerat till ledande poster inom forskningsråd och offentliga forskningsstiftelser. Denna utveckling speglar materialvetenskapens plats som en central disciplin inom svensk teknikvetenskaplig forskning. Flera av de materialvetare som gått vidare till ledande positioner inom det svenska forskningssystemet har haft en bakgrund som konsortieledare under 1990-talet.

En intressant fråga att undersöka är i vilken utsträckning den svenska materialvetenskapens styrka nationellt dessutom svarar mot en internationell konkurrenskraft. Att värdera forskningens innehåll och kvalitet ligger utanför ramarna för denna studie, men det finns mycket som talar för att den svenska materialvetenskapen också hävdar sig väl i ett internationellt sammanhang. I studien har lyfts fram flera forskare som har varit med och format materialvetenskapens utveckling internationellt. Mats Hillert och Bengt Rånby var verksamma vid amerikanska forskningsinstitutioner redan under 1950-talet och hade mycket stort vetenskapligt anseende utomlands. Ett stort antal svenska forskare har varit verksamma vid ledande forskningsinstitutioner och universitet i USA och andra delar av världen, med Stig Hagströms internationella karriär som det tydligaste exemplet. De internationella forskningssamarbeten som spelade en viktig roll för materialvetenskapens etablering vid svenska universitet under 1970- och 1980-talen har vidmakthållits och utvecklats. Internationella utvärderingar som gjorts visar att svensk materialvetenskap, med sina styrkeområden, ligger långt framme internationellt. På samma sätt som det skulle vara intressant att studera personalflödet från svenska universitet till industrin, vore det intressant med en bred och kvantitativ undersökning av den svenska materialvetenskapens internationella publiceringar och genomslag.

Referenser

Intervjuer

Ingela Agrell	1 oktober 2015
Ann-Christine Albertsson	30 september 2015 och 19 maj 2016
Bertil Aronsson	30 november
Sören Berg	22 september 2015
Lars Berglund	5 oktober 2015
Lennart Bergström	19 oktober 2015
Johan Blaus	22 oktober 2015
Jan-Otto Carlsson	22 september 2015
Tord Claeson	7 oktober 2015
Anders Flodström	25 september 2015
Mats Hillert	19 oktober 2015
Sture Hogmark	15 september 2015
Krister Holmberg	15 oktober 2015
Ulf Holmberg	
Lars Hultman	14 oktober 2015
Börje Johansson	17 september, 21 oktober 2015 och 20 maj 2016
Bengt Kasemo	6 oktober 2015
Christofer Leygraf	13 oktober 2015
Bengt Lundqvist	28 oktober 2015
Ingemar Lundström	24 september 2015
Alexandar Matic	2 oktober 2015
Kaarlo Niskanen	29 september 2015
Joseph Nordgren	27 november 2015
Lars Nyborg	28 oktober 2015
Östen Rapp	17 september 2015
Lars Samuelson	17 november 2015
Mikael Skrifvars	20 oktober 2015
Lennart Stenberg	11 december 2015
Jan-Eric Sundgren	3 november 2015
Rositsa Yakimova	27 oktober 2015
John Ågren	14 september 2015

Tryckta källor

- Englund, Björn och Forsgren, Paul, *Materialteknik: Studiebesök i USA under tiden 1978-09-17 – 78-10-03 rörande materialforskning* (Stockholm, 1978).
- Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), *Svensk materialutveckling i förnyelse, IVA-meddelande 259* (Stockholm, 1988).
- Kungliga Vetenskapsakademien (KVA), *Stiftelsen för Strategisk Forskning: En granskning av verksamheten 1998-2003*, KVA rapport 2003:2 (Stockholm: KVA, 2003).
- Materialcentrum vid Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet, *Materialforskning vid Chalmers tekniska högskola: Sammanställning över högskolans forskningsprojekt inom materialvetenskap* (Göteborg, 1982).
- , *Materials research at Chalmers University of Technology: Research projects in progress* (Göteborg, 1984).
- Naturvetenskapliga forskningsrådet (NFR), *International evaluation of condensed matter physics* (Lund och Stockholm, 1986).
- NUTEK och NFR, *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Technology: International Evaluation December 1991*, R 1991: 26 (Stockholm, 1992).
- , *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Technology: International Evaluation December 1992*, R 1992:45 (Stockholm, 1992).
- , *Vardag, vyer, visioner i NUTEKs och NFRs materialkonsortier*, Info 182-94 (Stockholm, 1994).
- , *Interdisciplinary Consortia in Materials Science and Technology: International Evaluation December 1995*, R 1995: 46 (Stockholm, 1995).
- Oxford Research, *Evaluation of The Programme for Interdisciplinary Materials Research Consortia* (Stockholm, 2002).
- Stiftelsen för strategisk forskning (SSF), *Tvärvetenskapliga materialkonsortier* (Stockholm, 1998).
- STU och NFR, *11 tvärvetenskapliga materialkonsortier* (Stockholm, 1991).
- Styrelsen för teknisk utveckling (STU), *Materialteknik: programförslag för 1977/78*, STU-information 40-1976 (Stockholm, 1976).
- , *Materialteknik: programförslag för 1978/79*, STU-information 61-1977 (Stockholm, 1977).
- , *Yt- och kolloidvetenskap i Sverige*, STU-information 89-1978 (Stockholm, 1978).
- , *Teknik för framtiden: STU-perspektiv 1979 – Idéer och underlag för inriktning och planering av teknisk forskning och utveckling*, STU-information 122-1979 (Stockholm, 1979).
-

- , *STU-perspektiv 1981: Internationella beroenden och teknisk-industriell förnyelse*, STU-information 257-1981 (Stockholm, 1981).
- , *Report of visiting committee on Swedish research in physics and chemistry of surfaces and coatings*, STU-information 264-1981 (Stockholm, 1981).
- , *STU-perspektiv 1983: Plan och förslag 1984/85-1986-87 – bilaga 6 till STU anslagsframställning 1984/85*, STU-information 354-1983 (Stockholm, 1983).
- , *Materialteknik: Programförslag 1984/85-1986/87*, STU-information 355-1983 (Stockholm, 1983).
- , *Nationellt mikroelektronikprogram*, STU-information 376-1983 (Stockholm, 1983).
- , *Nationella mikroelektronikprogrammet: En presentation*, STU-information 494-1985 (Stockholm, 1985).
- , *Tvärvetenskap för framtiden: Forskare om mikronik*, STU-information 532-1986 (Stockholm, 1986).
- , *STU-perspektiv 1986: Plan och förslag 1987/88-1989/90*, STU-information 540-1986 (Stockholm, 1986).
- , *Cellulosafiberbaserad materialteknologi: Resultat inom ett ramprogram för kunskapsutveckling*, STU-information 548-1986 (Stockholm, 1986).
- , *Ytors fysik och kemi: Resultatsammanställning från forskning inom STUs ramprogram 1980-85*, STU-information 621-1987 (Stockholm, 1987).
- , *Nationella mikroelektronikprogrammet: Kunskapsuppbyggnad och teknikspridning*, STU-information 676-1988 (Stockholm, 1988).
- , *STU-perspektiv 1989: Plan och förslag 1990/91-1992/93*, STU-information 738-1989 (Stockholm, 1989).
- , *Materialteknik: Förslag till FoU-program budgetåren 1990/91-1992/93*, STU-information 742-1989 (Stockholm, 1989).
- , *Tvärvetenskapliga konsortier inom materialvetenskap och materialteknik*, STU-information 748-1989 (Stockholm, 1989).
- , *Materialteknik: underlag och förslag till insatser inom ett nationellt program*, STU-information 749-1989 (Stockholm, 1989).
- , *Mikronik: Projektkatalog för ett tvärvetenskapligt forskningsprogram inom kemi, fysik och biovetenskaperna: Etapp 1*, STU-information 766-1990 (Stockholm, 1990).
- , *Trends in sensor technology*, STU-information 788-1990 (Stockholm, 1990).
- , *Vad STU gjort för produktiva forskningsmiljöer inom högskolan*, STU-information 832-1991 (Stockholm, 1991).

Litteratur

- Agrell, Wilhelm, *Vetenskapen i försvarets tjänst: De nya stridsmedlen, försvarsforskningen och kampen om det svenska försvarets struktur* (Lund: Lunds universitet, 1989).
- Althin, Torsten, *KTH 1912–1962: Kungl. Tekniska högskolan i Stockholm under 50 år* (Stockholm: Kungliga tekniska högskolan, 1970).
- Aronsson, Bertil, *The origins and growth of cemented carbide: With emphasis on the development within the Sandvik Group companies* (Stockholm: Institutet för metallforskning, 2005).
- Aronsson, Bertil, *On the origins and early growth of stainless steel: A survey with emphasis on the development in Sweden* (Avesta: Outokumpu Stainless Research Foundation, 2010).
- Benner, Mats, *Kontrovers och konsensus: vetenskap och politik i svenskt 1990-tal* (Stockholm: Institutet för studier av utbildning och forskning, 2001).
- Bensaude-Vincent, Bernadette, "The construction of a discipline: Materials science in the United States", i *HSPS vol 31 part 2* (2001), 223–248.
- Bensaude-Vincent, Bernadette, "Building Multidisciplinary Research Fields: The Cases of Materials Science, Nanotechnology and Synthetic Biology", i Metz och Sormani (red.), *The Local Confirmation of Research Fields, Sociology of Sciences Yearbook 29* (2016).
- Cahn, Robert W., *The coming of materials science* (London: Pergamon, 2001).
- Choi, Hyungsub och Mody, Cyrus C. M., "The long history of molecular electronics: Microelectronics origins of nanotechnology", i *Social Studies of Science vol. 39, number 1* (2009), 11–50.
- Cohen, Morris (red.), *Materials science and engineering: Its evolution, practice and prospects* (Washington, 1975).
- Glimell, Hans (red.), *Industriförnyelse i Norden: 80-talets programsatningar på mikroelektronik* (Roskilde, 1988).
- Hacking, Ian, "The Disunities of the Sciences", i Peter Galison och David J. Stump (red.), *The Disunity of Science: Boundaries, Context and Power* (Stanford: Stanford university press, 1996).
- Hallonsten, Olof, "Growing big science in a small country: MAX-lab and the Swedish research policy system, i *Historical Studies in the Natural Sciences, vol. 41, number 2* (2011), 179–215.
- Hallonsten, Olof (red.), *In pursuit of a promise: Perspectives on the political process to establish the European Spallation Source (ESS) in Lund, Sweden* (Lund: Arkiv, 2012).

- Hallonsten, Olof, *Small science on big machines: Politics and practices of synchrotron radiation laboratories* (Lund: Research Policy Institute, 2009).
- Hallonsten, Olof, "The Parasites: Synchrotron Radiation at SLAC, 1972–1992", i *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 45, number 2 (2015), 217–72.
- Hallonsten, Olof och Heinze, Thomas, "Formation and expansion of a new organizational field in experimental science", i *Science and Public Policy*, 42 (2015), 841–54.
- Heinze, Thomas, m.fl., "New patterns of scientific growth: How research expanded after the invention of scanning tunneling microscopy and the discovery of the Buckminsterfullerenes", i *Journal of the American Society for Information Science and Technology* (2013), 1–15.
- Himmel, Laurence, m.fl. (red), *Perspectives in materials research* (Washington, DC: Office of Naval Research, 1963).
- Holmlund, Susanne och Olin, Håkan, *Nanorevolutionen: Från Nobelpris till din vardag* (Stockholm: Santérus förlag, 2011).
- Hounshell, David, "Invention in the Industrial Research Laboratory: Individual Act or Collective Process?", i Robert J. Weber och David N. Perkins (red.), *Inventive Minds: Creativity in Technology* (Oxford: Oxford University Press, 1992).
- Kaufman, Larry och Ågren, John, "CALPHAD, first and second generation – Birth of the materials genome", i *Scripta Materialia* vol. 70 (2014), 3–6.
- Kenly Smith Jr, John, "The Scientific Tradition in American Industrial Research", i *Technology and Culture* 31, No. 1 (1990).
- Laage-Hellman, Jens, *Utveckling av ny biomedicinsk teknik: En nätverksstudie*, STU-information 768-1990 (Stockholm, 1990).
- Larsson, Ulf, "Physics in a stronghold of engineering: professorial appointments at the Royal Institute of Technology 1922-1985" i *Center on the periphery: Historical aspects of 20th century Swedish physics*, red. Svante Lindqvist (Canton, Massachusetts: Science History Publications, 1993).
- Larsson, Ulf, *Vetenskap och teknik i teori och praktik: Professorstillsättningar vid KTH 1921-86* (Stockholm, 1990).
- Leslie, Stuart W., *The Cold War and American science: The military-industrial-academic complex at MIT and Stanford* (New York: Columbia University Press, 1993).
- Martin, Joseph, D., "Fundamental Disputations: The Philosophical Debates that Governed American Physics, 1939–1993", i *Historical Studies in the Natural Sciences*, vol. 45 no. 5 (2015), 703–57.

- Mody, Cyrus C. M., "Corporations, universities and instrumental communities: Commercializing probe microscopy, 1981–1996", i *Technology and Culture* vol. 47 (2006), 56–80.
- Mody, Cyrus C. M. och Choi, Hyungsub, "From materials science to nanotechnology: Interdisciplinary center programs at Cornell University, 1960–2000", i *Historical Studies in the Natural Sciences* vol. 43/2 (2013), 121–161.
- Mody, Cyrus C. M., "How probe microscopists became nanotechnologists", i *Discovering the nanoscale*, red. D. Baird, A. Nordmann och J. Schummer (Amsterdam: IOS Press, 2004), 119–134.
- Mody, Cyrus C. M., *Instrumental community: Probe microscopy and the path to nanotechnology* (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2011).
- Perez-Vico, Eugenia, "An in-depth study of the direct and indirect impacts from the research of a professor in physics", i *Science and Public Policy*, vol. 41 (2014), 701–719.
- Persson, Bo, *Motsträviga myndigheter: Sektorsforskning och politisk styrning under 1980-talet* (Stockholm: Institutet för studier av utbildning och forskning, 2001).
- Pettersson, Ingemar, *Handslaget: Svensk industriell forskningspolitik 1940–1980* (Stockholm: Kungliga tekniska högskolan, 2012).
- Rush, John J., "US Neutron Facility Development in the Last Half-Century: A Cautionary Tale", i *Physics in Perspective*, vol. 17 (2015), 135–55.
- Sandström, Ulf, *Det nya forskningslandskapet: Perspektiv på vetenskap och politik* (Nora: Nya Doxa, 2002).
- Schummer, Joachim och Baird, Davis (red.), *Nanotechnology challenges: Implications for philosophy, ethics and society* (Singapore: World Scientific, 2006).
- Sundin, Bosse, *Ingenjörsvetenskapens tidevarv: Ingenjörsvetenskapsakademien, Pappersmasskontoret, Metallografiska institutet och den teknologiska forskningen i början av 1900-talet* (Umeå, 1981).
- Weinberger, Hans, *Nätverksentreprenören: En historia om teknisk forskning och industriellt utvecklingsarbete från den Malmska utredningen till Styrelsen för teknisk utveckling* (Stockholm: Kungliga tekniska högskolan, 1996).
- Ågren, John, "A short biography of Mats Hillert", i *Thermodynamics and phase transformations: The selected works of Mats Hillert*, red. John Ågren m.fl. (EDP Sciences, 2006).

Vinnovas publikationer

Oktober 2016

För mer info eller för tidigare utgivna publikationer se vinnova.se

Vinnova Analys

VA 2016:

- 01 Vinnväxt - Ett innovativt program i takt med tiden
- 02 Årsbok 2015 - Svenskt deltagande i europeiska program för forskning & innovation
- 03 Effektanalys av Vinnväxt-programmet - *Analys av effekter och nytta*
- 04 Chemical Industry Companies in Sweden - *Update including data for competence analysis*
- 05 Energibranschen i Sverige fortsätter växa - *Analys av företag i energibranschen 2007-2014 - branschdelar, åldersstrukturer, jämställdhet och kompetens*
- 06 Omvandling och fasta tillstånd - *Materialvetenskapens etablering vid svenska universitet*
- 07 Svensk konsultsektor i ny belysning - *Utvecklingstrender och dynamik*

VA 2015:

- 01 Årsbok 2014 - *Svenskt deltagande i europeiska program för forskning & innovation*
- 02 Samverkansuppgiften i ett historiskt och institutionellt perspektiv
- 03 Långsiktig utveckling av svenska lärosätens samverkan med det omgivande samhället - *Effekter av forsknings- och innovationsfinansiärers insatser*
- 04 Företag i Tåg- och järnvägsbranschen i Sverige - *2007-2013*
- 05 FoU-program för Små och Medelstora Företag - *Metodologiskt ramverk för effektanalyser*
- 06 Small and beautiful - *The ICT success of Finland & Sweden*
- 07 National Research and Innovation Councils as an Instrument of Innovation Governance - *Characteristics and challenges*
- 08 Kartläggning och behovsinventering av test- & demonstrationsinfrastruktur

VA 2014:

- 01 Resultat från 18 VINN Excellence Center redovisade 2012 - *Sammanställning av enkätresultaten. (För engelsk version se VA 2014:02)*
- 02 Results from 18 VINN Excellence Centres reported in 2012 - *Compilation of the survey results. (För svensk version se VA 2014:01)*
- 03 Global trends with local effects - *The Swedish Life Science Industry 1998-2012*
- 04 Årsbok 2013 - *Svenskt deltagande i europeiska program för forskning och innovation.*
- 05 Innovations and new technology - *what is the role of research? Implications for public policy. (För svensk version se VA 2013:13)*
- 06 Hälsoekonomisk effektanalys - *av forskning inom programmet Innovationer för framtidens hälsa.*
- 07 Sino-Swedish Eco-Innovation Collaboration - *Towards a new pathway for shared green growth opportunity.*
- 08 Företag inom svensk massa- och pappersindustri - *2007-2012*
- 09 Universitets och högskolors samverkansmönster och dess effekter

Vinnova Information

VI 2016:

- 01 Projektkatalog Utmaningsdriven innovation Steg 1-2015 - *Initieringsprojekt*
- 02 Projektkatalog Utmaningsdriven innovation Steg 2-2015 - *Samverkansprojekt*
- 03 Projektkatalog Utmaningsdriven innovation Steg 3-2015 - *Följdinvesteringsprojekt*
- 04 Årsredovisning 2015
- 05 FFI Årsrapport 2015 - *Samverkan för stark svensk fordonsindustri och miljöanpassade samt säkra transporter*
- 06 Innovation för ett attraktivare Sverige - *Sammanfattning (Kortversion av VI 2015:07)*
- 07 Utmaningsdriven innovation - *Samhällsutmaningar som tillväxtpotentialer (för engelsk version se VI 2015:11)*
- 08 Vinnväxt - *A programme renewing and moving Sweden ahead*

VI 2015:

- 01 Insatser för innovationer inom Hälsa
- 02 FFI Årsrapport 2014 - *Samverkan för stark svensk fordonsindustri och miljöanpassade samt säkra transporter*
- 03 Social innovation - Exempel
- 04 Social innovation
- 05 Årsredovisning 2014
- 06 Sweden needs FFI (för svensk version se VI 2015:10)
- 07 Innovation för ett attraktivare Sverige - *Underlag till regeringens politik för forskning, innovation och högre utbildning 2017-2020 - Huvudrapport (för sammanfattning se VI 2016:06, för analysrapport se VI 2015:08)*
- 08 Förutsättningar för innovationspolitik i Sverige - *Underlag till regeringens politik för forskning, innovation och högre utbildning 2017-2027 - Analysrapport (för huvudrapport se VI 2015:07)*
- 09 UTGÅR, ersätts av VI 2016:07
- 10 Sverige behöver FFI (för engelsk version se VI 2015:06)
- 11 Challenge-Driven Innovation - *Societal challenges as opportunities for growth (för svensk version se VI 2016:07)*

Vinnova Rapport

VR 2016:

- 01 Third Evaluation of VINN Excellence Centres - *AFC, BiMaC Innovation, BIOMATCELL, CESC, CHASE, ECO2, Faste, FUNMAT, GHZ, HELIX, Hero-m, iPack, Mobile Life, ProNova, SAMOT, SuMo & WINGQUIST*
- 02 Third Evaluation of Berzelii Centres - *Exselent, UPSC & Uppsala Berzelii*
- 03 NOVA - *Verktyg och metoder för normkreativ innovation (för engelsk version se VR 2016:06)*
- 04 Forskning och utveckling för ökad jämställdhet - *Följeforskning om Vinnovas regeringsuppdrag avseende behovsmotiverad forskning för ökad jämställdhet 2013-2015*
- 05 This is about Change - *Ten years as an on-going evaluator of the Triple Steelix initiative (För svensk version se VR 2015:05)*
- 06 NOVA - *tools and methods for norm-creative innovation (för svensk version se VR 2016:03)*

- 07 Flaggskeppsfabriken - *Styrkor i svensk produktion*
- 08 Flaggskeppsmetodiken - *En arbetsmetod för industriellt erfarenhetsutbyte*

VR 2015:

- 01 Bumpy flying at high altitude? - *International evaluation of Smart Textiles, The Biorefinery of the Future and Peak Innovation*
- 02 From green forest to green commodity chemicals - *Evaluating the potential for large-scale production in Sweden for three value chains*
- 03 Innovationstävlingar i Sverige - *insikter och lärdomar*
- 04 Future Smart Industry - *perspektiv på industrivandling*
- 05 Det handlar om förändring - *Tio år som följeforskare i Triple Steelix (För engelsk version se VR 2016:05)*
- 06 Evaluation of the Programme Multidisciplinary BIO - *The strategic Japanese-Swedish cooperation programme 2005 - 2014*
- 07 Nätverksstyrning av transportinnovation
- 08 Ersättningsystem för innovation i vård och omsorg - *En studie av åtta projekt som utvecklar nya ersättningsmodeller*

Miljö - allas ansvar

Privatpersoner, företag och myndigheter
- alla behöver samverka för en bättre framtida miljö.

E-Print i i samarbete med Vinnova,
tar ansvar för en miljövänlig trycksaksproduktion.
Gemensamt nyttjar vi modern produktionsteknik och miljövänliga
insatsvaror i vår strävan att minimera miljöpåverkan.
Vårt miljöarbete har hög prioritet och utvecklas kontinuerligt.

Produktion & layout: Vinnovas Kommunikationsavdelning

Tryck: E-Print, Stockholm, www.eprint.se

Oktober 2016

Försäljning: Wolters Kluwer, www.wolterskluwer.se



341 865
Tryckt hos E-Print AB



Vinnova stärker Sveriges innovationskraft

Post: Vinnova, SE-101 58 Stockholm, Sweden Besök/Office: Mäster Samuelsgatan 56
+46 8 473 30 00 vinnova@vinnova.se vinnova.se