VINNOVA ANALYS
VA 2007:01

NANOTEKNIKENS INNOVATIONSSYSTEM

EUGENIA PEREZ & PATRIK SANDGREN

Titel: Nanoteknikens innovationssystem
Författare: Eugenia Perez & Patrik Sandgren - VINNOVA
Serie: VINNOVA Analys VA 2007:01
ISBN: 978-91-85084-71-5
ISSN: 1651-355X
Utgiven: Januari 2007
Utgivare: VINNOVA - Verket för Innovatonssystem

VINNOVAs uppgift är att ***främja hållbar tillväxt*** genom finansiering av ***behovsmotiverad forskning*** och utveckling av ***effektiva innovationssystem***.

Genom sitt arbete ska VINNOVA tydligt bidra till att Sverige utvecklas till ett ledande tillväxtland.

I serien VINNOVA Analys publiceras studier, analyser, utredningar och utvärderingar som tagits fram inom eller på uppdrag av VINNOVAs avdelning för Strategiutveckling.

Forskning och innovation för hållbar tillväxt.

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 Policy som återger VINNOVAs synpunkter och ställningstaganden.
VINNOVAs publikationer finns att beställa, läsa och ladda ner via www.VINNOVA.se. Tryckta utgåvor av VINNOVA Analys, Forum och Rapport säljs via Fritzes, www.fritzes.se, tel 08-690 91 90, fax 08-690 91 91 eller order.fritzes@nj.se

VINNOVA´s publications are published at www.VINNOVA.se

Nanoteknikens innovationssystem

av

Eugenia Perez & Patrik Sandgren

Förord

Det finns stora förväntningar på att nanovetenskapen och nanotekniken skall skapa nya applikationer och innovationer och där igenom stor tillväxt. Närmare 30 länder har initierat nationella strategier och initiativ för nanoteknisk utveckling. Svensk nanoteknik anses hålla en internationellt sett stark kunskapsmässig position och nanoteknik har pekats ut som ett potentiellt tillväxtområde för svensk industri. Trots det saknar Sverige en strategi för nanoteknisk utveckling. För att utforma en framgångsrik strategi behövs en förståelse för svenska förutsättningar i en internationell kontext.

VINNOVA har bland annat till uppgift att identifiera behov och utveckla effektiva innovationssystem. Idag finns ingen samlad beskrivning av det innovationssystem i Sverige som kan relatera till nanoteknik. Syftet med denna studie är att bidra till en sådan beskrivning och således öka VINNOVAs och Sveriges kännedom om nanotekniken ur ett innovationssystemsperspektiv.

Rapporten har författats av Eugenia Perez och Patrik Sandgren, avdelningen för strategiutveckling på VINNOVA, i samspel med IVA. Tack till alla intervjuade och övriga personer som bidragit till rapportens tillkomst. Tack till IVA för bidrag med underlagsmaterial och insiktsfulla inspel.

VINNOVA i januari 2007

Gunnel Dreborg
Vice avdelningschef
Avdelningen för Strategiutveckling

Innehåll

Sammanfattning **7**

1 Inledning **9**
1.1 Om studien 9
1.2 Om nanoteknik 10
1.2.1 Ett försök till att hitta vägen från kunskap till applikation 12
1.2.2 Indelning av nanoteknik 15
1.3 Om innovationssystemet 16

2 Nanoteknik i Sverige **17**
2.1 Innovationssystemets utveckling 17
2.2 Aktörer 18
2.2.1 Näringslivet 18
2.2.2 Högskolorna och Instituten 25
2.2.3 Finansiärerna 29
2.2.4 Policyn 30
2.3 Ramverk och nätverk 31
2.3.1 Ramverk 32
2.3.2 Nätverken 34

3 Sveriges förutsättningar att skapa nanoteknikinnovationer **39**
3.1 Drivkrafterna 39
3.2 Nanotekniska kunskapsbasen 42
3.2.1 Vetenskaplig kunskapsnivå 42
3.2.2 Teknisk kunskapsnivå 44
3.2.3 Spridning av kunskap i systemet 45
3.3 Kommersialisering 46
3.3.1 Nya idéer till innovationer 47
3.3.2 Produktions-, affärs- och marknadsrelaterad kunskap 48
3.3.3 Samverkan för kommersialisering 50
3.4 Marknaden 51
3.4.1 Marknaderna och deras utveckling 51
3.4.2 Två sätt att nå marknaden 53
3.4.3 Betydelsen av den svenska marknaden 55
3.5 Legitimering 55
3.5.1 Miljö- och hälsoaspekter 55
3.5.2 Etiska och samhälleliga aspekter 56
3.5.3 Tekniska osäkerheter 57
3.5.4 Visionärer och realister 58
3.6 Resurserna 58
3.6.1 Humankapital 59
3.6.2 Finansiella resurser 60
3.6.3 Mobilisering av resurser kopplade till infrastruktur 64
3.7 Outputen 64

4 Slutsatser och åtgärder 66
4.1 Hinder för skapandet av nanoteknikinnovationer 66
4.2 Åtgärdsförslag 69
4.3 Slutdiskussion 71

5 Referenser 72

Bilagor 78
Bilaga A: Sammanställning av instituten och högskolornas verksamhetsområden inom nanovetenskap och nanoteknik 78
Bilaga B: Vetenskaplig aktivitet och excellens inom nanoteknik (1996-2001) 80
Bilaga C: Centrumbildningar i Sverige inom nanoteknik, Lennart Stenberg, VINNOVA 2006 81
Bilaga D: Nationella finansiärer inom nanoteknik, samt EU genom RP6 82
Bilaga E: Projekt inom RP6 som koordineras av svenska aktörer 85
Bilaga F: Bibliometriska indikatorer 86
Bilaga G: Fördelning av anslagen inom 6:e ramprogrammet över deltagande länder 88
Bilaga H: Patenteringsaktivitet 89

Sammanfattning

Marknaden för nanoteknik väntas nå 1,000 miljarder USD år 2015. För att ta vara på de möjligheter nanotekniken väntas ge har närmare 30 länder utformat strategier och tagit initiativ för nanoteknisk utveckling. Svensk nanoteknik håller en internationellt sett stark kunskapsmässig position inom vissa nischer och nanoteknik har pekats ut som ett potentiellt tillväxtområde för svensk industri. Trots det saknas kunskap om nanoteknik och dess tillämpningar i Sverige. Syftet med denna studie är att bidra till en beskrivning av den svenska nanoteknikens innovationssystem dels genom att översiktligt belysa aktörerna och de ramverk och nätverk som ingår i och påverkar systemet, dels genom att ge en bild av de svenska förutsättningarna för att skapa nanoteknikinnovationer.

Innovationssystemet är idag i en tidig fas med en tyngdpunkt på forskning och kunskapsuppbyggnad. Hög osäkerhet råder rörande regleringar och marknader och det saknas generellt standards, specialiserad arbetskraft och starka intresseorganisationer i Sverige.

Nanoteknisk verksamhet bedrivs idag av företag, högskolor och institut. Nätverk bildas och institutioner utvecklas. Det finns i denna mening ett nanoteknikens innovationssystem i Sverige. Sammanlagt 85 företag med olika grader av koppling till nanoteknik har identifierats. 34 är ”rena” nanoteknikföretag, med verksamhet uppbyggd kring nanoteknik och 51 företag använder nanoteknik i vissa av sina produkter. De ”rena” nanoteknikföretagen omsatte år 2005 1,5 miljarder SEK och sysselsatte 680 personer. Sverige har dock i internationell jämförelse relativt få nanoteknikföretag. Femton svenska högskolor och nio institut med nanorelevant forskning har identifierats. Ett fåtal riskkapitalbolag och forskningsfinansiärerna intresserar sig för nanoteknik.

En uttalad marknadspotential och internationella initiativ driver på uppbyggnaden av nanoteknikens innovationssystem i Sverige. Samtidigt finns det osäkerheter rörande tillämpningar och deras specifika marknadspotentialer. Sverige har en stark vetenskaplig kunskapsbas som lockar utländska aktörer och samverkan med internationella aktörer god. Samtidigt är samverkan mellan akademi samt mellan akademi och industri relativt liten, vilket resulterar i att den tekniska kunskapsbasen och den interdisciplinära spridningen av kunskap har potential att utvecklas.

Vad gäller kommersialisering så finns en relativt hög grad av experimenterande med nanoteknikapplikationer. Dock försvåras kommersialiseringen av svaga länkar mellan akademi och näringsliv och av

låg produktions- och marknadsrelaterade kunskapsnivå. Det har också varit svårt för de rena nanoteknikföretagen att identifiera tillämpningar. Dessutom försvagar osäkerheter kring tekniken och dess toxikologi samt regleringar legitimiteten för nanoteknik i befintlig industri.

För närvarande finns det tillräckligt med generellt humankapital och infrastrukturella forskningsresurser, men det saknas humankapital med tillräcklig tvärvetenskaplig kompetens. Satsningarna på nanoteknik i Sverige har varit splittrade och finansieringsstrukturen för forskning försvårar för forskningsutövarna. Nanoteknik attraherar allt större privata och offentliga investeringar i många delar av världen, men inte i Sverige. Det svenska riskkapitalets intresse för nanoteknik är svalt.

Nanoteknikens generiska karaktär gör det svårt att tala om tekniken mer generellt när det gäller forskning, näringsliv och marknader. I detta kan troligtvis en av förklaringarna till avsaknaden av fokus i svenska nanotekniska forskningssatsningar ligga. För trots att inga samlade nanotekniksatsningar har gjorts så finns nanotekniken spridd inom olika forskningsområden. Sverige har goda förutsättningar till att bli ledande inom nanotekniska områden, men för att möta den internationella konkurrensen måste Sverige kraftsamla på dem.

Det finns ett växande näringsliv inom nanoteknik i Sverige, men det finns klara förbättringspotentialer. Det etablerade näringslivets deltagande i utvecklandet av nanotekniska innovationer är kritiskt, då de innehar produktions-, marknads- och affärskunskap.

1 Inledning

Under de senaste decennierna har det talats allt mer om nanoteknik. Över 2 miljoner nya jobb världen över väntas nanotekniken skapa och marknaden för nanoteknik väntas nå 1,000 miljarder USD år 2015[1]. Visionärer talar om den tredje industriella revolutionen.

Det är stora förväntningar som finns på nanotekniken men långt ifrån alla är övertygade om att dessa kommer att mötas. Ändå kan det konstateras att det är ett område med många möjligheter. För samtidigt som många klassar nanoteknik som en hype, har nanoteknik gett upphov till tidigare omöjliga applikationer i till exempel kosmetika, färger och läkemedel, produkter som redan idag finns i vår omgivning[2].

Svensk nanoteknik anses hålla en internationellt sett stark kunskapsmässig position och nanoteknik har pekats ut som ett potentiellt tillväxtområde för svensk industri. Dock finns idag en svag bild av nanoteknikområdet ur ett innovationssystemsperspektiv.

1.1 Om studien

För att ta vara på de möjligheter nanotekniken väntas ge har närmare 30 länder initierat någon form av nationellt initiativ för satsningar på nanoteknik. Även på EU-nivå har det lagts fram en strategi inom området[3]. Trots det saknar Sverige ett samlat grepp kring nanoteknik. Idag är nanotekniken i Sverige ett fragmenterat område med spridda aktiviteter och satsningar. En överblick saknas.

I ljuset av detta startade Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA, år 2005 ett projekt för att utveckla en nationell strategi för nanoteknik i Sverige . För att utforma en framgångsrik strategi behövs en förståelse för svenska förutsättningar i en internationell kontext. Idag finns ingen samlad beskrivning av det innovationssystem i Sverige som kan relatera till nanoteknik. Syftet med denna studie är att bidra till en sådan beskrivning genom att:

- Övergripande belysa aktörerna, samt de ramverk och nätverk som ingår i och påverkar det svenska innovationssystemet inom nanoteknik.

[1] Roco (2004)
[2] Allianz och OECD (2005)
[3] Ahlgren och Jonsson (2005)

- Ge en bild av de svenska förutsättningarna för att skapa nanoteknikinnovationer utifrån ett antal aspekter av relevans för innovationssystemet.

Studien är övergripande för nanoteknikområdet men med en större vikt på material och elektronikområdet, områden där nanoteknik använts längre tid. Speciellt biotekniksidan är ytligt kartlagd. Målet har varit att ge en första inblick i det breda området som kallas nanoteknik. Definitionen av nanoteknik har hållits bred vilket resulterar i att slutsatserna bör ses som övergripande och tentativa.

Huvuddelen av materialet i studien kommer från rapporter, artiklar och hemsidor, men även från ett antal intervjuer med aktörer, samt seminarier kring nanoteknik.

Kapitel 1.2. som följer försöker ge en generell bild av nanoteknik och de discipliner, tekniska områden och marknader som kopplats till nanoteknik. Kapitel 1.3. som följer introducerar kort innovationssystemsangreppssätet och vad som avses med nanoteknikens innovationssystem i Sverige. Kapitel 2 kretsar kring frågor som väcks i den första punkten i studiens syfte, nämligen beskrivningen av aktörerna, ramverken och nätverken som ingår i och påverkar det svenska innovationssystemet inom nanoteknik. I kapitel 3 bedöms de svenska förutsättningarna för att skapa nanotekniska innovationer genom att analysera ett antal aspekter av innovationssystemet. Här diskuteras också outputen av innovationssystemet, det vill säga hur bra systemet är på att producera innovationer. I kapitel 4 sammanfattas de hinder för skapandet av innovationer som identifierats i analysen i kapitel 3 och fem förslag på åtgärder som kan öka skapandet av innovationer presenteras.

1.2 Om nanoteknik

År 1959 förebådade den amerikanske fysikern Richard Feynman nanoteknikens framtida möjligheter i ett tal som kom att bli betraktat som det första steget i utvecklingen av begreppet nanoteknik. Trots att han inte nämnde själva termen *nanotechnology* så talade han om att konstruera strukturer atom för atom.

”Nano” i nanoteknik syftar till en måttenhet som spänner över intervallet (0,1-100) $*10^{-9}$m. Men måttet är egentligen inte det centrala, utan det är faktumet att nya egenskaper framträder då element blir tillräckligt små som är viktigt. Detta presenterar möjligheter som:

- Miniatyrisering ner på molekylär och atomnivå. Detta ökar snabbhet och minskar storleken i produkter.

- Synergieffekter genom tvärvetenskaplighet då olika discipliner förs samman i ett konvergerande sammanhang där till exempel biologin kan möta elektronik på molekylär och atomär nivå.
- Nya material som uppträder när man bygger upp atomlager för atomlager, med möjlighet att exempelvis ändra kristallers kemiska sammansättning.
- Nya egenskaper än de i de traditionella bulkmaterialen då strukturen eller patriklarna når en viss storleksordning. Exempel på detta kan vara förändringar i ljusabsorptionsförmågan, ledningsförmågan, magnetism, hårdheten etc.

Forskare utgår också från materialsammansättningar och strukturer i naturen när de söker nya egenskaper de kan efterhärma genom att använda sig av nanoteknik. Detta område kallas biomimetik. Ett exempel är den så kallade lotuseffekten som används för självrengörande ytor. Material har utvecklats som efterliknar lotusblommans vattenavstötande vaxmaterial och dess struktur.

På engelska talar man ofta om *nanoscience* och *nanotechology*, där nanovetenskap (*nanoscience*) är studerandet av nya fenomen och egenskaper som uppkommer just på atomär och molekylär nivå. Nanoteknik (*nanotechnology*) är tillämpningen av nanovetenskap för att skapa nya egenskaper genom manipulering av molekyler och små strukturer. Ofta inbegriper nanoteknik alltså en manipuleringsdimension. Att bara kunna studera nanostrukturer och dess egenskaper är alltså egentligen inte nanoteknik men det är just nanovetenskapen som oftast, men inte alltid, ligger som grund till tekniken. Därför är även nanovetenskapen viktig att belysa när man talar om nanoteknik utifrån ett systemangreppssätt.

Nanoteknik omnämns ofta som en horisontell-, nyckel-, generisk eller möjliggörande teknik. Nanoteknik har stark interdisciplinär karaktär och täcker ett brett spektrum av vetenskaper och tekniker inom fysik, biologi och kemi.

Användandet av termen nanoteknik varierar. Vissa likställer det med atomslöjd, hanterandet av atomer, och under 1990-talet var den termen vanligare än nanoteknik. Andra utgår från storleksnivån som nanotekniken syftar på och inkluderar ett brett spektra av områden när de talat om nanoteknik[4]. De finns även de som hävdar att nanoteknik, med undantag av enstaka fall av manipulation av atomer, handlar om vanlig konventionell materialvetenskap eller vanlig kemiteknik[5]. I studien används följande definition av nanoteknik.

[4] Karhi (2006)
[5] Karhi (2006)

Nanoteknik inbegriper förståelsen och den kontrollerade manipuleringen av strukturer och tillämpningar på molekylär och atomär nivå.

Antalet dimensioner i nanometerstorlek som man arbetar med kan variera från en till tre där en dimension motsvarar ett skikt eller en film och tre dimensioner skulle motsvara en friställd partikel eller en yta med tredimensionell struktur. Det finns olika åsikter om nanometertjocka skikt och filmer skall inkluderas i nanoteknikområdet eller inte. Vissa menar att nanoteknik blir intressant först när man arbetar i två dimensioner på nanometernivå[6]. I denna studie inkluderas dock skikt och filmer i nanoteknik eftersom nya egenskaper, som ju konstateras vara det centrala för nanotekniken, uppkommer redan vid en dimension.

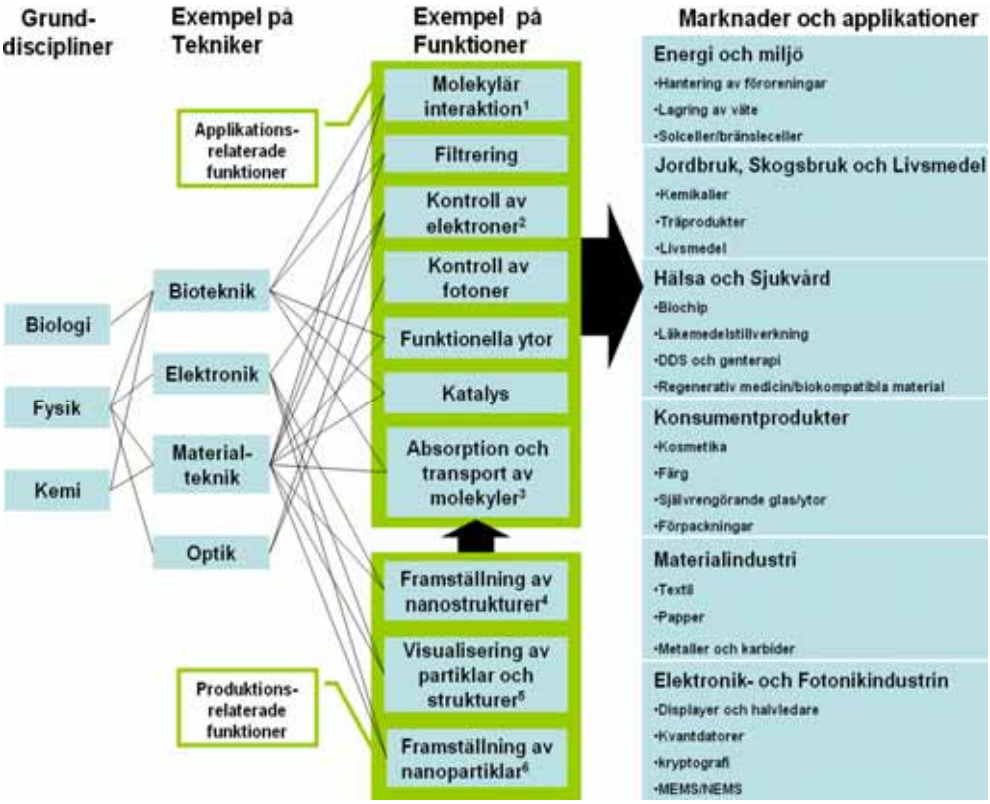
Det finns två sätt att arbeta på nanonivå, bottom-up och top-down. Bottom-up handlar om att skapa nanometerstora strukturer genom att bygga molekyl för molekyl, eller atom för atom. Epitaxi är ett exempel på detta då man genom ordnad tillväxt av en kristallinfilm kan skapa nanometertjocka ytor. Vid top-down utgår man från ett större element och försöker genom kontrollerade processer skapa nanometerstora strukturer i ett större material. Detta har varit den generella ingången till nanoteknik för områden som elektronik och materialteknik. Detta kan åstadkommas exempelvis genom litografi.

1.2.1 Ett försök till att hitta vägen från kunskap till applikation

Att försöka härleda kopplingen mellan vetenskapliga grunddiscipliner och nanoteknikapplikationer är inte helt enkelt givet nanoteknikens generiska natur. Dock är detta viktigt för att förstå utvecklingen av kunskapen kring nanoteknik utifrån en systemaspekt. Figuren 1 är ett försök att göra just detta och ge en förenklad bild av området.

[6] Karhi (2006)

Figur 1 Teknikanalys av nanoteknik



1. Inklusive nanomagnetism
2. Inklusive spinntronik och kvantprickar, men även genom kolnanorör
3. Exempelvis i strukturer av fulleren som kolnanorör
4. Genom t.ex. litografi (atomkraftmikroskopi (AFM) och sveptunnelmikroskopi (STM)), epitaxi och självorganisering
5. Genom t.ex. atomkraftmikroskopi (AFM) och sveptunnelmikroskopi (STM)
6. Genom t.ex. litografi och självorganisering

Tre grunddiscipliner, biologi, fysik och kemi, lägger basen för nanotekniken. Det är i stor utsträckning inom grundforskningen, framför allt inom fysiken, som området utvecklats. Inom kemi och fysik har man länge arbetat på nanometernivå så nanoteknik är egentligen inget nytt. Biologin har genom de senaste årens utveckling inom bioteknik tagit ett kliv in i nanoteknikområdet. Gentekniken är ett exempel på detta. Disciplinen har även fungerat som inspirationskälla i uppbyggandet av nanostrukturer genom biomimetiken.

Vidare grenar grunddisciplinerna ut sig i olika typer av tekniker. Materialtekniken och elektroniken har varit de två drivande teknikerna vad gäller utvecklingen av nanoteknik. Inom elektroniken har krav på ökad prestanda genom mindre komponenter banat vägen till nanonivån. Inom materialtekniken har sökandet efter nya egenskaper i material varit det drivande. Prestandakraven för nya material har på senare tid även kommit

från biotekniken genom utvecklingen av till exempel regenerativ medicin. Nanostrukturers förmåga att manipulera ljus på nya sätt har gjort att nanoteknik även kopplats till optik.

Som nämnts möjliggör nanoteknik ett gemensamt gränssnitt där till exempel bioteknik, elektronik och materialteknik kan mötas och skapa nya funktioner och applikationer. Det är ofta i dessa funktioner som nanoteknikens verkliga nyhetsvärde framträder. Figur 1 innehåller två typer av funktioner, den ena relaterad till produktionsfunktioner som är nödvändiga för att skapa element i nanostorlek och den andra till funktioner som nanoteknik möjliggjort och som kopplas till applikationer. Kopplingen mellan dessa funktioner och möjliga produkter är oändliga eftersom nanoteknik förväntas öppna upp för otaliga nya applikationer inom en stor mängd olika marknader. För att skapa en översiktlig bild har därför kopplingar mellan varje funktion och applikation eller marknad ersatts med en pil.

Det finns produkter som funnits på markanden i decennier, så som solskyddsfaktor och repfria solglasögon[7]. Elektronikmarknaden nås troligen av allt mer nanoteknikprodukter inom den närstående framtiden, exempelvis displayer och TV-apparater. Idag arbetar redan dataindustrin på nanometernivå och längre fram i tiden hittar vi förbättringar i trådlös teknik och oerhörda krafter i dataprocesser. Inom materialindustrin hittas idag till exempel nya textiler med vind- och vattentätande egenskaper. Längre fram i tiden kan nya material leda till lättare konstruktioner av fordon, så väl på land som i luften och rymden. Medicinska applikationerna tros också skapa en stor marknad och man har stora förhoppningar på nanotekniken. I dag finns DDS, läkemedelsformulering baserade på nanoteknik i tidiga faser och så kallade lab-on-a-chip, instrument för diagnostik. I framtiden väntar man sig proteser i biokompatibla material och material för regenerativ medicin. Inom Energi och miljöområdet väntas man i stor utsträckning kunna utnyttja nanostrukturers katalys och filtreringsegenskaper, till exempel för att filtrera bort salt från vatten. Man hoppas också kunna skapa lättare material för att ökad energieffektivitet, samt nya energiformer, som till exempel artificiell fotosyntes.

Det finns även flera tvärgående marknader, som till exempel säkerhetsindustrin och fordonsindustrin med relevans för nanoteknikens innovationssystem. Här till kan nämnas ett antal tvärgående applikationer så som instrument för produktion och mätning av nanoteknikstrukturer och

[7] Applikationerna och marknaderna är identifierade ur en stor mängd material men framför allt från Allianz och OECD(2005)

sensorer för diverse funktioner. Detta är kopplat till de produktionsrelaterade funktionerna i figur 1.

1.2.2 Indelning av nanoteknik

I denna studie delas nanoteknik in i Bioteknik, Elektronik, Instrument och Utrustning samt Material- och Ytbehandling. Nanoteknikens generiska natur och diversitet vad gäller tekniker, applikationer och marknader samt dess roll som tvärvetenskaplig gränssnittsteknik gör det svårt att skapa klara delområden och indela aktörer och deras verksamhet. Nedan följer de kriterier som använts vid klassningen av näringslivsaktörerna.

Bioteknik: Det tekniska utnyttjandet av organiska molekyler och biologiska system så som celler och cellbeståndsdelar på nanometernivå för att framställa eller modifiera produkter.

Elektronik: Kontroll av elektroners rörelse på nanometernivå för att producera elektroniska komponenter, inom exempelvis radio, datateknik och kommunikation.

Instrument och utrustning: Tillverkning av precisionsverktyg eller apparater för mätning och analys på nanometernivå, så som sensorer, spektroskop och andra mätdon, samt tillverkning av utrustning för att producera strukturer på nanometernivå.

Material- och Ytbehandling: Det tekniska utnyttjandet och utvecklandet av oorganiska material för att utifrån bearbetning på nanometernivå uppnå önskade egenskaper i material och på ytor.

Utgångspunkten för ovanstående indelning har varit IVAs[8] uppdelning som har legat väl i linje med andra indelningar av området som identifierats.

Indelningen av nanoteknik är inte helt oproblematisk då de olika områdena går in i varandra och dessutom utgör olika snitt i nanoteknikområdet. Detta har varit en begränsning i studien vad gäller klassningen av näringslivsaktörerna. Speciellt Instrument- och Utrustningsområdet har haft starka kopplingar till materialteknik, elektronik och/eller bioteknik eftersom det har utgångspunkt i applikation istället för teknik som de övriga. Valet att ändå särskilja detta område har gjorts för att fånga upp den viktiga grupp företag som med hjälp av nanoteknik skapar förutsättningar att mäta och producera på nanometernivå.

[8] IVAs projekt ”Strategi för ett svenskt nanosystem”, IVA 2006

1.3 Om innovationssystemet

Följande rapport har ett innovationssystemsangreppssätt. Med det menas att man ser på ett antal aktörer, nätverk och institutioner ur ett systemperspektiv[9] där systemets uppgift är att skapa nanoteknik-innovationer. Följande definition av innovationssystemet används i denna analys:

> *Aktörer som utvecklar, producerar eller använder nanoteknik, offentliga och privata organisationer samt institutioner och ramverk som påverkar deras agerande.*

Systemet i denna rapport definieras utifrån två aspekter, en teknik och ett geografiskt område, i detta fall ett land. Det är i fallet nanoteknik lite speciellt eftersom det egentligen inte handlar om en verklig teknik, och heller inte en produktgrupp. Det finns heller inte en avgränsad grupp av vetenskapsdiscipliner som ligger bakom utvecklingen. Egentligen byggs det i denna rapport beskrivna innovationssystemet upp kring konceptet eller fenomenet nanoteknik som ger upphov till ett antal tekniker och produkter. Vad gäller den geografiska avgränsningen kan den diskuteras men givet att rapporten skrivs i ljuset av framtagandet av en nationell strategi anses avgränsningen vara lämplig.

Generella drag för både det svenska innovationssystemet och nanotekniken globalt kommer att forma det som i denna studie kommer att betraktas som ett svenskt innovationssystem inom nanoteknik. Detta görs med ett sektoriellt fokus på nanoteknik. Dock kan man egentligen inte tala om ett sådant enat sektoriellt system för nanoteknik generellt givet områdets bredd. Detta diskuteras närmare i kapitel 4.2. Syftet med denna studie är dock att ge en övergripande bild av den struktur och de mekanismer som skapar nanotekniska innovationer och för det anses innovationssystems-angreppssättet som analysverktyg vara lämpligt.

[9] Dessa delar hänger samman med varandra så att de bildar en helhet där de olika delarna påverkar och påverkas av varandra.

2 Nanoteknik i Sverige

Trots att Sverige inte har ett formellt nationellt nanoteknikinitiativ har ett antal aktiviteter fullbordats och man kan idag hitta antal aktörer som relaterar sin verksamhet till nanoteknik. Det finns i det avseendet ett nanoteknikens innovationssystem i Sverige. Syftet med detta kapitel är att övergripande belysa de svenska aktörerna i nanoteknikens innovationssystem i Sverige, samt de ramverk och nätverk som påverkar området.

2.1 Innovationssystemets utveckling

Olika innovationssystem befinner sig i olika faser beroende på de förutsättningar som funnits för systemen att växa fram. Trots att vissa typer av nanoteknikprodukter, som solkrämer och färg, funnits ute på marknaden ett bra tag i Sverige har det svenska innovationssystemet inom nanoteknik haft kring 15 år på sig att utvecklas och visar idag klara drag på att fortfarande befinna sig i en tidig fas. Aktörer söker sin plats i värdekedjan, nätverk bildas och institutioner utvecklas för att stödja utvecklandet av tekniken. Redan 1987 tangerade man nanoteknikområdet i det mikronikprogram som finansierades av STU och som väckte intresse hos näringslivsaktörer. Dock nämns ofta de materialkonsortier som skapades under 1990-talet, där man samlade duktiga forskare från olika discipliner kring strategiska forskningsfrågor, som grundpelaren i det svenska innovationssystemet inom nanoteknik[10].

Idag karakteriseras systemet fortfarande av en tyngdpunkt på forskning och kunskapsuppbyggnad, hög osäkerhet rörande regleringar och marknader, svårigheter i att definiera området och hög dynamik hos aktörer. Det saknas både standards, specialiserad arbetskraft och branschorganisationer. I denna fas är det viktigt att det finns en möjlighet att förändra marknadsregleringar, standarder eller andra policyramar. Vidare är det vikligt att det lockas nya aktörer till systemet och att det finns testmarknader där applikationer kan utvecklas. Det är också vikligt att skapa förtroende och stöd för teknologin genom politisk aktivitet[11]. En annan viktig aspekt är att skapa riktlinjer och ledsaga aktörerna så att de börjar gå åt samma håll[12]. Detta är aspekter som är viktigare än andra för att systemet skall fortsätta att utvecklas och för att systemets tillväxt skall ta fart.

[10] Fogelberg (2002)
[11] Carlsson och Jacobsson (2004)
[12] Hekkert et al (2004)

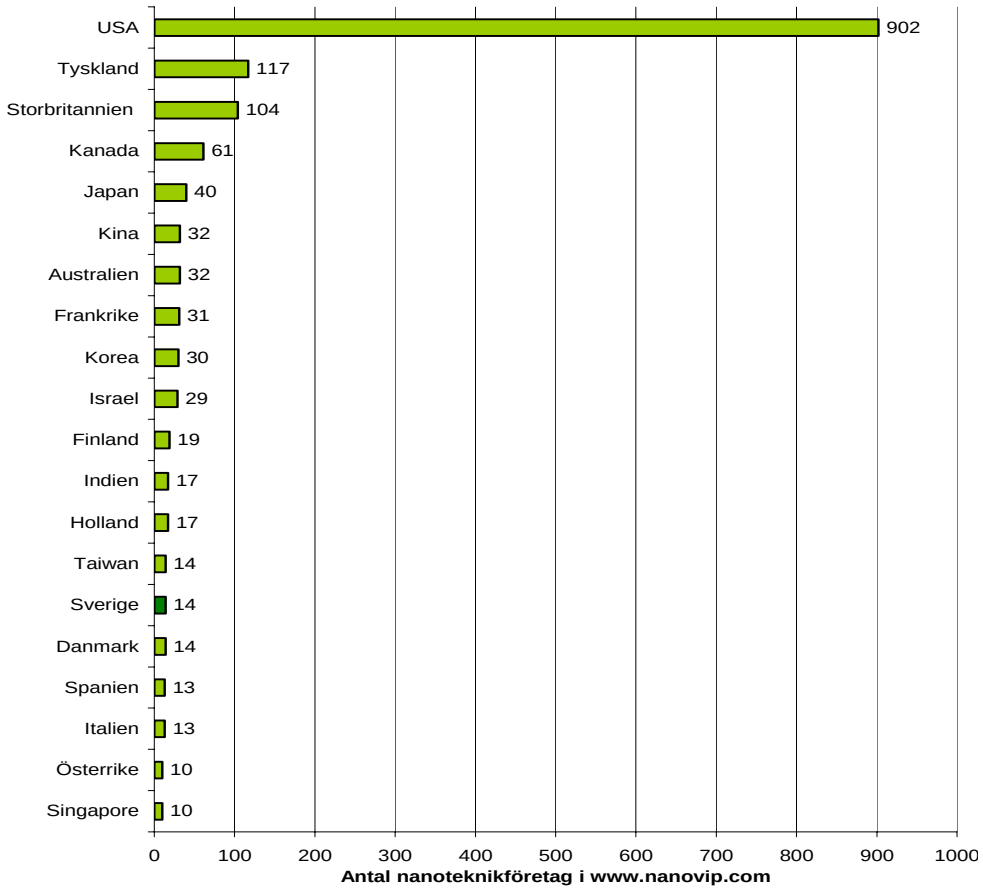
2.2 Aktörer

Nanoteknisk verksamhet hittas idag hos ett antal aktörer i näringslivet, på högskolorna och på instituten. Det finns även ett antal finansiärer som intresserat sig för området ur ett forsknings- och innovationsperspektiv, samt politiska aktörer.

2.2.1 Näringslivet

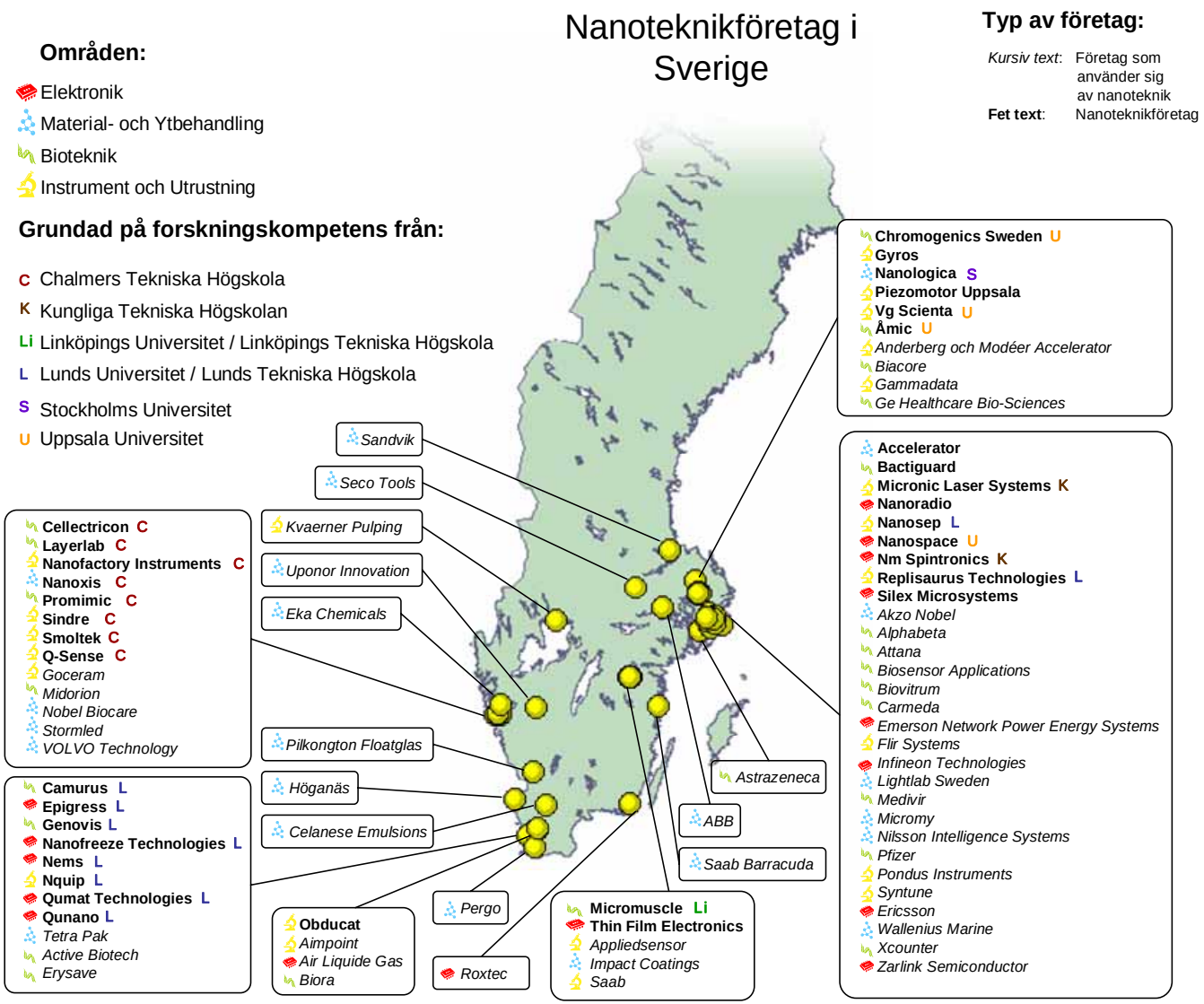
Sverige har i internationell jämförelse relativt få nanoteknikföretag. I en databas sammanställd av Nanvip.Com[13] över nanoteknikföretag placerar sig Sverige först på en femtonde plats i världen med 14 nanoteknikföretag (figur 2).[14]

Figur 2 Antal nanoteknikföretag i olika länder (2006-07)



[13] Denna databas är dock den enda som finns och som tillåter en jämförelse mellan länder. Cientifica har gjort äldre kartläggningsstudier där Sverige presterar liknande, exempelvis i Allianz och OECD (2005).
[14] Nanovip.Com (2006), Detta är det första nätverket för nanoteknikföretag.

Dock är detta en svag indikator, vilket visar sig då man jämför med antalet svenska företag som identifierats i denna studie. I Sverige har hela 85 företag med olika grader av koppling till nanoteknik hittats. 34 kan sägas vara ”rena” nanoteknikföretag, med verksamhet uppbyggd kring nanoteknik. Övriga 51 är företag som använder sig av nanoteknik i större eller mindre utsträckning för att möjliggöra befintlig verksamhet. Dessa 85 företag delas in i områdena Bioteknik, Elektronik, Instrument och Utrustning samt Material- och Ytbehandling, och deras regionala fördelning visas i figur 3.

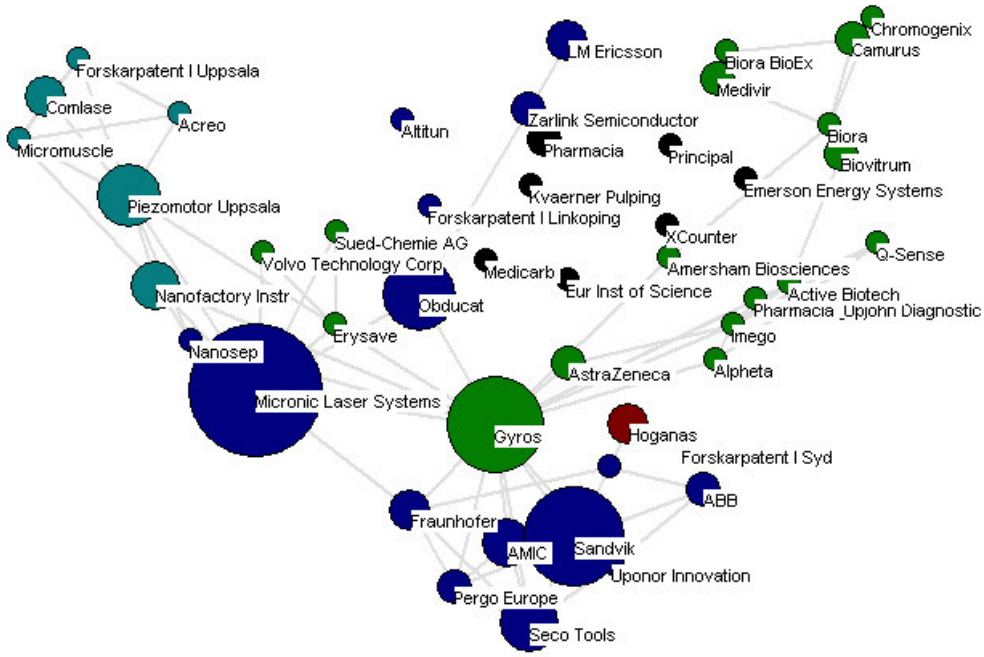


Figur 3 Företagen kopplade till nanoteknik fördelade över Sverige, data från UC (2006)

De svenska nanoteknikföretagen är koncentrerade till Stockholm/Uppsala, Göteborg och Malmö/Lund. Detta är väntat då flertalet företag har kopplingar till högskolorna på orterna. Dessa har varit en viktig källa till uppkomsten av ”rena” nanoföretag[15]. Över tre fjärdedelar (26/34) av de ”rena” nanoföretagen bygger helt eller delvis på en produktidé från akademin. Av dessa var 10 från Lunds Universitet (LU) och 8 från Chalmers tekniska högskola (CTH).

Under åren 1991-2004 fick 34 av de 85 bolagen 133 patent godkända[16]. För att visa på hur strukturen i svensk nanopatentering ser ut gjordes en så kallad klusteranalys av patenterande organisationer i Sverige. Med avseende på patentklasser visas kopplingen mellan olika företags nanoteknikaktivitet[17].

Figur 4 Klusteranalys av patenterande organisationer i Sverige, från Meyer (2005b)



Figur 4 visar hur Micronic Laser Systems, Sandvik och Gyros dominerar. Micronic bildar tillsammans med Sandvik ett kluster som rör patent inom material och instrument. Genom Gyros öppnas sedan en länk till klustret som rör bioteknik, där företag som AstraZeneca och Camarus hittas. Till

[15] För övriga nanoteknikföretag har ursprung inte spårats på samma sätt. Därför visas inte dessa företags ursprung heller i figur 3.
[16] Inom USPTO, Meyer (2005b)
[17] Företagens närhet relaterar till likheten i patentklasser hos innehavda patent. En länk representerar en samstämmighet i patentklass på fyrställig nivå enligt International Patent Classification (IPC). Cirklarnas storlekar representerar antalet innehavda patent. Organisationerna är inte bara företag utan även institut och holdingbolag som innehar patent. Det rör sig dock endast om 6 patent som hamnar under denna kategori

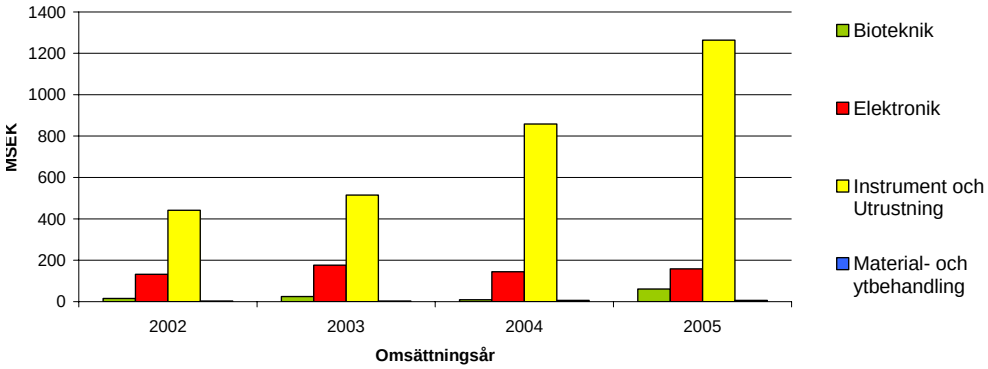
vänster länkar industriforskningsinstitutet Acreo ett antal bolag kring instrument som kopplas till övriga företag genom Micronic.

Rena Nanoteknikbolag

De 34 ”rena” nanoteknikföretagen omsatte år 2005[18] 1,5 miljarder SEK och sysselsatte 680 personer, men endast 15 % lyckades redovisa vinst 2005[19]. Kring 65 % (22 st) av nanoteknikföretagen etablerades efter januari 2000. Motsvarande siffra för de övriga företagen är 21 %. Många av de rena nanoteknikbolagen är alltså bara några år gamla och befinner sig fortfarande i en uppstartsfas[20]. Därför saknar många kunder och kapitalet kommer från diverse finansiella uppstartsstöd, som industrifonden och innovationsbron. Vissa har tagit steget vidare till att få visst riskkapital och referenskunder. Det finns dock de som kommit avsevärt längre, som Micronic Laser Systems grundat redan 1989.

Ser man på de senaste årens utveckling för rena nanoföretag så är det Instrument och utrustningsområdet som i absoluta tal vuxit mest. Detta gäller både omsättning (figur 5) och anställda. Dock är Bioteknik det område som vuxit mest relativt sin storlek. Omsättningen bland bioteknikföretagen har nästan fyrdubblats mellan 2002 till 2005 och antalet anställda mer än fördubblats.[21]

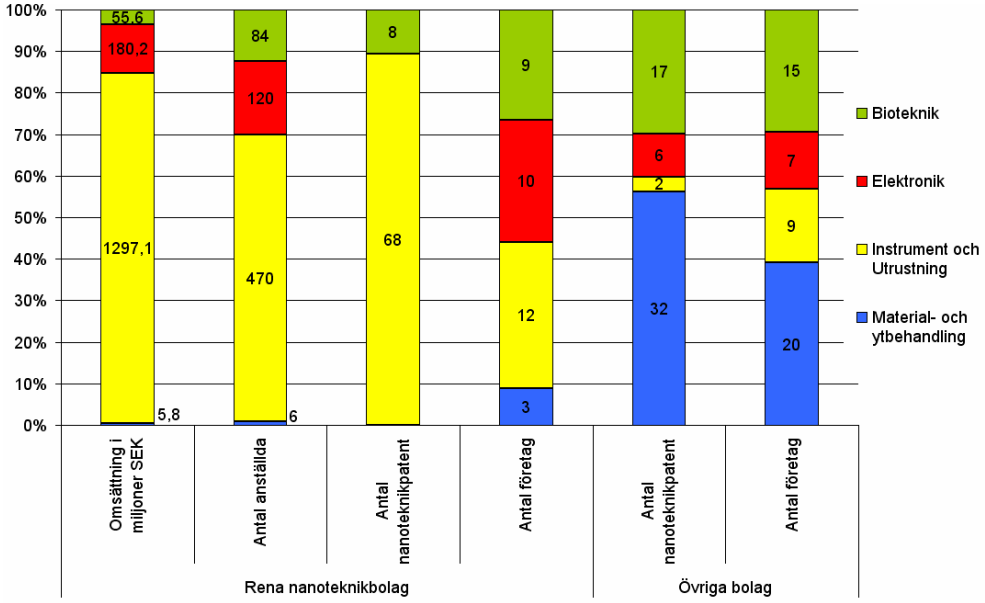
Figur 5 Utveckling av omsättning (MSEK) i rena nanoföretag fördelade på tillämpningsområden.



Totalt höll de rena nanoteknikföretagen 76 av de 133 nanoteknikpatent som identifierats näringslivet 1991 till 2004[22]. Figur 6 visar fördelningen av antal företag, patenteringsaktivitet, omsättning och antal anställda för nanoteknikföretagen och de övriga företagen över områdena.

[18] Data gäller i fåtalet fall för 2004 beroende på bolagens senast redovisade bokslutsår.
[19] Motsvarande siffra för övriga bolag med nanoteknikaktivitet var 50 %
[20] Då produkten inte är kommersiellt testad.
[21] Utvecklingen härleds delvis till företagens unga ålder, samt konjunktursvängningar.
[22] Meyer (2005b)

Figur 6 Fördelning av över områdena för de rena nanoteknikbolagen och de övriga bolagen, ekonomisk data från UC (2006), patenten från Meyer (2005)



Som synes dominerar ***Instrument och utrustningsområdet*** bland de rena nanoteknikbolagen. Micronic Laser Systems, producent av instrument för tillverkning och mätning av fotomasker[23], framträder starkast med 280 anställda. Detta är det enda företaget med över 50 anställda bland nanoteknikföretagen. De innehar 30 patent av företagens totalt 133. Även Gyros, som tillverkar mikrolaboratorier, Obducat, som framställer nanolitografiska lösningar, Piezomotor, tillverkare av mikromotorer, och Q-Sense, som gör mätinstrument för forskning, är större bolag i sammanhanget och ingår i Instrument- och utrustningsområdet.

Inom ***Elektronik*** är Nanoradio, producent av WLAN[24], Silex Microsystems som producerar MEMS[25], och Thin Film Electronics, ett FoU-företag som licentierar lösningar för dataprocesseringssystem, de största aktörerna. De är dock förhållandevis små och det finns ännu inga nanoteknikpatent inom området. Inom ***Bioteknikområdet*** finns 8 nanoteknikrelaterade patent som främst innehas av Åmic (4st) och Camurus (2 st). Åmic är verksamma inom diagnostik och Camarus utvecklar DDS, drug delivery systems. Dessa bolag tillsammans med Cellectricon, som tagit fram ett testsystem där levande celler kopplas samman med mikrochip, har flest antal anställda inom Bioteknikområdet. Inom ***Material och Ytbehandlingsområdet*** finns endast

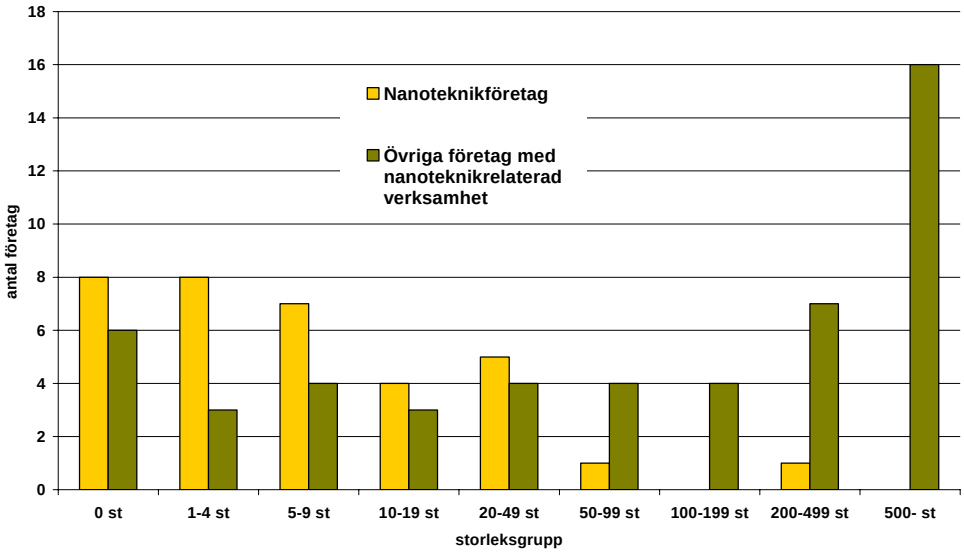
[23] Fotografisk glasplåt med ledningsmönstret för en integrerad krets, Nationalencyklopedin (2006)
[24] Wireless Local Area Network, lokalt nätverk för trådlös överföring av signaler mellan datorer
[25] Micro Electrical Mechanical systems, anordning i mikrostorlek med både mekaniska och elektriska funktioner

tre nanoteknikbolag, Nanologica, Accelerator och Nanoxis. Värt att nämna är att många av de andra bolagen ursprungligen grundats på materialteknisk kompetens men att de idag tillhör något av de andra områdena. De företag som idag finns inom material och ytbehandling är också väldigt unga och forskningsnära.

Övriga bolag med aktiviteter inom nanoteknik

Den andra typen av företag som har nanoteknikrelaterad verksamhet är stora etablerade bolag som har resurser att ge sig in på området för att förbättra en redan befintlig verksamhet. I figur 7 framträder den stora skillnaden i storlek mellan företagstyperna.

Figur 7 Fördelning av företag över storleksgrupper, data från UC (2006) avser år 2005



Övriga bolags patenteringsverksamhet inom nanoteknik är förhållandevis blygsam i jämförelse med de rena nanoteknikföretagen. ***Materialområdet*** dominerar, både med avseende på antal företag och patent (figur 6), bland annat genom Sandvik (17 st) och Seco Tools (6 st). Tetra Pak, ABB, Saab och Volvo är andra stora bolag som tillhör materialområdet. Bland övriga bolag är ***Instrument och utrustnings-*** samt ***Elektroniområdet*** minst med avseende på antalet bolag och patent. Dessa områden var stora bland nanoteknikbolag.

2.2.2 Högskolorna och Instituten

Under de senaste fem åren har nanoteknik spridigt sig som trendord i forskarvärlden[26]. Allt fler kopplar sin verksamhet till termerna nanovetenskap och nanoteknik. Enligt Forskning.se[27] finns det i Sverige hela 500 aktiva forskare inom området. Lunds Universitet (LU), Chalmers Tekniska Högskola (CTH) och Kungliga tekniska Högskolan (KTH) har alla pekat ut nanoteknik som ett strategiskt forskningsområde. Ett stort antal forskargrupper (sammanlagt över 50 stycken) kopplas till begreppet nanoteknik i en samlad ”nano-profil” för respektive högskola. KTH räknar till att hela 15 % av högskolans forskning hittas inom nanoteknik, vilket även väntas öka.[28]

En översikt av forskargrupper

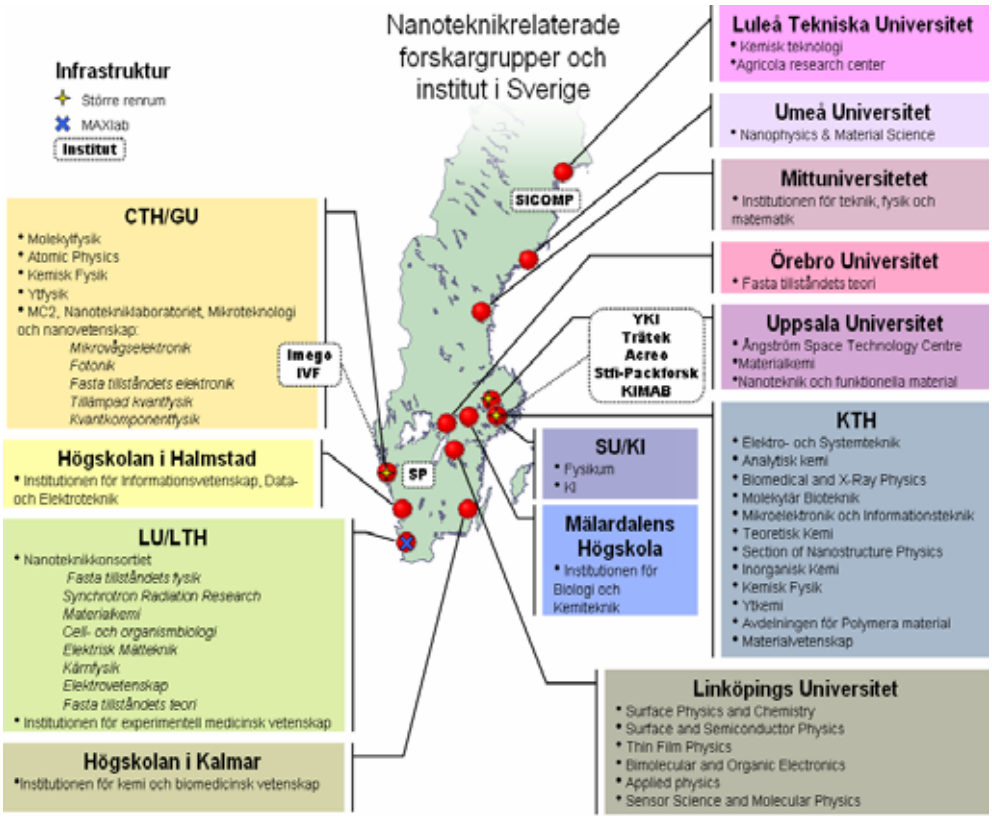
Femton svenska högskolor och nio institut med nanorelevant forskning har identifierats. Figur 8 visar hur dessa fördelar sig geografiskt med några exempel på institutioner och forskargrupperingar för respektive högskola[29]. Ett försök till beskrivning av instituten och högskolornas inriktningar finns i bilaga A.

CTH (tillsammans med Göteborgs Universitet, GU) har samlat det mesta av den nanorelaterade forskningen kring nanotekniklaboratoriet MC2 (Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap) och LU kring Nanometerkonsortiet. Dessa två tillsammans med KTH och Linköpings Universitet (LiU) är de mest verksamma högskolorna inom nanoteknikområdet. IVF, Acreo, Imego, SP, KIMAB, Stfi-Packforsk, Trätek, YKI och Sicomp är de institut med verksamhet inom nanoteknik. Men institutens verksamheten inom nanoteknik har inte samma utsträckning som på högskolorna, delvis på grund av nanoteknikens tidiga fas där mycket av forskningen i nanoområdet fortfarande är kopplad till grundforskningen och därmed knuten till högskolorna. Den tillämpnings- och produktionsrelaterade utvecklingen av nanoteknik har ännu inte kommit så långt. Dock har YKI utmärkt sig i bibliometriska sammanhang[30]. Imego och Acreo har även ett nanoteknikpatent var.

---

[26] Forskarvärlden upplever att nanoteknik fortfarande hjälper dem att dra in anslag och etiketterar därför sin forskning efter det. Samtidigt finns en viss rädsla för att användandet skall klassas som ren marknadsföring och andra väljer därför att använda begreppet mera försiktigt.
[27] Offentligt finansierad hemsida som bevakar forskning
[28] KTH (2006)
[29] Den kompletta strukturen av forskargrupper kring nanoteknik har inte benats ut. Figur 8 ger endast en överblick på varierade nivå för aktiviteterna.
[30] Se bilaga B.

Figur 8 Högskolor och institut i Sverige med nanoteknikverksamhet 2006.



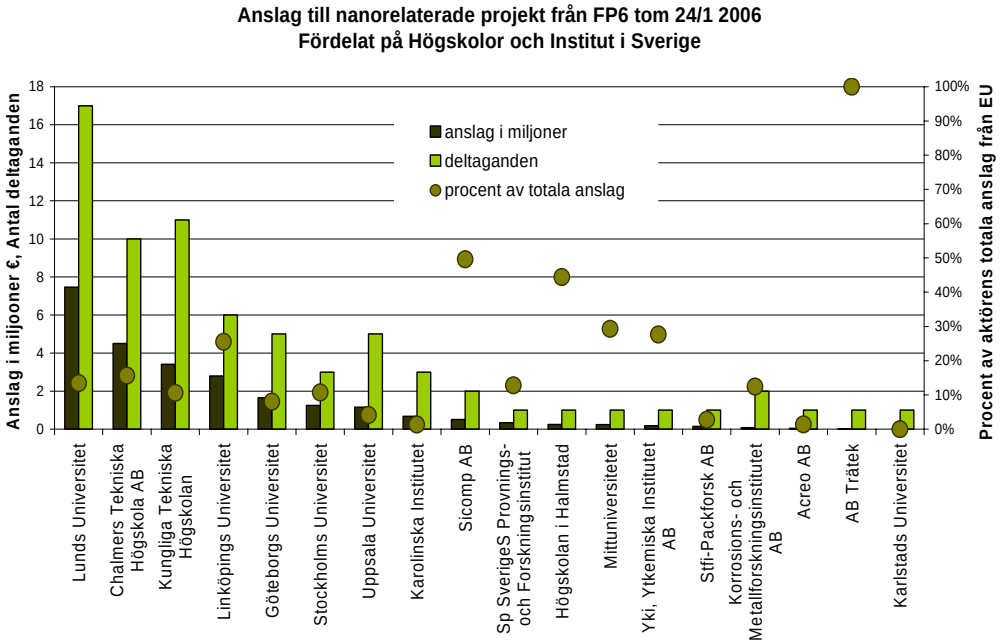
LU med Nanometerkonsortiet, som levt kvar sen materialkonsortiumstiden[31], omnämns ofta som den internationellt mest erkända svenska högskolan i sammanhanget. Forskargrupper vid CTH/GU anses vara framstående främst inom sveptunnelmikroskopi och kvantdatorer och KTH har stark kompetens inom halvledarteknik. LiU har en generell stark profil inom nanoteknik relation till sin storlek. Många framstående forskare hittas här, särskilt inom området funktionella material. Uppsala Universitet (UU) är starkt i sin tvärvetenskapliga karaktär, främst genom starka bioteknik- och life science-kopplingar[32].

Många av dessa aktörer deltar i nanoteknikrelaterade projekt inom EU:s sjätte ramprogram för forskning och utveckling (RP6)[33]. LUs dominerar

[31] Materialkonsortierna var tvärdiciplinära samarbeten mellan forskargrupper på olika högskolor. Konsortierna initierades 1993 av NUTEK och Naturvetenskapliga forskningsrådet och övertogs sedan av Stiftelsen för Strategisk Forskning (SSF)
[32] Vetenskapsrådet (2005)
[33] Denna fördelning av anslagen kan ses som en indikator på hur starka dessa aktörer är inom sitt område, om man antar att en aktör med framstående forskning är den som får

klart det svenska deltagandet inom nanoteknikrelaterade projekt följt av CTH, KTH och LiU. GU och Stockholms Universitet (SU) följer innan UU dyker upp på sjunde plats, vilket framkommer i figur 9.

Figur 9 Fördelning av anslag och deltaganden i nanorelaterade projekt i RP6



Figur 9 visar den procentuella andelen av aktörernas totala anslag inom RP6. Detta ger en indikator på deras fokusering på nanoteknik[34]. Bland de åtta aktörer som är mest involverade i ramprogramsforskning framträder dock LiU:s relativa specialisering mot nanoteknik där hela 26% av anslagen de erhåller från RP6 är nanoteknikrelaterade. Motsvarande siffra är 16% för CTH, 13% för LU och 11% för KTH. Figur nio kan även ses som en indikator på hur väl uppkoplad man är mot det europeiska forskningsfältet.

För att mäta vetenskaplig aktivitetsnivå i forskningen är antalet publikationer av vetenskapliga artiklar en väl använd indikator. Vid ranking av världens mest publicerande organisationer inom nanoteknik 1996-2001 hittas CTH på 24:e plats (7:a bland de europeiska), LU på 32:a plats (8:a bland de europeiska), UU på 55:e plats och GU på 72:a plats[35]. Totalt sex svenska aktörer hittas bland de 100 mest publicerande i Europa inom nanoteknik.

---

anslag. Detta är dock endast en av de faktorer som vägs in vid bedömning av ansökningar. Ett starkt deltagande i RP6 kan ändå ses som ett tecken på styrkan hos aktörerna.

[34] För aktörer som tar hem mindre anslag ger varje post ett relativt stort utslag. Trätek till exempel, som endast deltar en gång i ramprogrammet och det är i ett nanoteknikprojekt.

[35] Noyons et al (2003), från databasen http://studies.cwts.nl/projects/ec-coe/cgi-bin/izite.pl?show=home

Kvaliteten i forskningen mäts oftast i antalet gånger en artikel citeras[36]. Bland de 10 mest citerade organisationerna i Europa inom nanoteknik hittas Karolinska Institutet. I bilaga B presenteras aktivitetsnivå och kvaliteten i publiceringsaktiviteter inom nanoteknik för svenska aktörer[37]. Där framträder CTH och LU som aktiva bland högskolorna, medan KI har överlägset antal citeringar per publikation. Umeå och Luleå har ett litet antal artiklar med många citeringar. Bland övriga aktörer har Ytkemiska Institutet, YKI, publicerat mest och de presterar bra även i förhållande till högskolorna. Andra institut som har hög publiceringsfrekvens är FOI och Imego. Bland företagen publicerar de stora läkemedelsaktörerna mest. Även ABB har publicerat vetenskapliga artiklar. Då företagen och instituten publicerat har det ofta rört sig om sampublicering med högskolorna.

De svenska högskolorna är omtalade bland forskare i Europa vad gäller nanoteknisk forskning[38]. CTH och LU utmärker sig mest men även KTH och UU nämns som framstående. LU har i en studie[39] klassats som den fjärde mest framstående europeiska aktören inom nanoteknik för interaktion, detektion och mikrosystem. Inom nanobioteknik placerade sig LU och CTH på delad sextondeplats och inom nanoteknik för informationshantering delade de på tjugondeplatsen bland europeiska aktörer. För Material och yt-teknik hittas CHT på tolfte plats, LU på nittonde plats och LiU på trettioförsta plats.

I Sverige finns idag även ett antal så kallade strategiska forskningscentra eller *centres of excellence*, relaterade till nanoteknik[40]. En genomsnittsräkning för 2005 ger att 14 miljoner kronor satsades på nanoteknik genom centrumbildningarna (se bilaga C). LU kommer under 2007 ha 4 finansierade centra. CTH har fått stöd från två finansiärer inom kvantområdet. KTH och UU har vardera en centrumbildning finansierade av VINNOVA respektive Vetenskapsrådet och VINNOVA. Intressant är att LiU med sin förhållandevis ringa storlek har fått stöd till sina centrumbildningar från tre olika håll.

---

[36] Så kallad *impact factor*, antal citeringar per publicerad artikel

[37] Noyons et al (2003), Bibliometrisk data efter 2001 över svenska aktörers publicering har inte hittats. För att kunna ge en aktuell bild av aktörernas verksamhet är det nödvändigt att tillgå detta.

[38] Meyer et al (2001). Forskarna delades in i fyra forskningsinriktningar. Bedömningarna gjordes av forskare inom samma områden. Endast forskare som kom från ett annat land än bedömaren fick nämnas.

[39] Meyer et al (2001)

[40] Dessa överlappar delvis varandra vad gäller tid och område.

Infrastrukturen

På MC2, (CTH) och Elektrum i Kista (KTH) samt på Ångströmslaboratoriet (Uppsala Universitet, UU) finns större renrumsfaciliteter (figur 8)[41]. MAX-lab, ett elektronacceleratorlaboratorium, finns i Lund. De ”nationella” faciliteternas inriktningar speglar forskningen på högskolorna knutna till laboratorierna. Här följer en kort beskrivning

- Mc2: Profilerat mot framställning av nanostrukturer, så som nanolitografi. Laboratoriet drivs som en fristående del men är starkt knuten till högskolan och väl uppkopplad mot industrin.
- Elektrum-labbet: Profilerat mot halvledarteknik och fotonik med ett relativt brett spektrum av forskning. Laboratoriet tillhandahålla service åt akademin och etablerad industri samt ger stöd åt start-ups.
- Ångströmslaboratoriet: Profilerat mot material, energiteknik, bioteknik och fysik. Detta laboratorium är i något mindre grad uppkopplad mot industrin och står något närmare akademin. Det karaktäristiska i laboratoriet är det tvärvetenskapliga i forskningen.
- MAX-lab: Nationellt laboratorium som för acceleratorfysik, synkrotronstrålning och kärnfysik.

Runt årsskiftet föregick diskussioner om den europeiska neutronkällan, ESS, European Spallation Source, skulle placeras i Sverige. ESS kommer att vara en sameuropeisk mångvetenskaplig forskningsanläggning med världens kraftfullaste neutronkälla för forskning inom bland annat nanoteknik. ESS väntas bli ett självständigt laboratorium oberoende av befintliga faciliteter. Diskussionen har kretsat kring en placering i Öresundregionen. Många i Sverige ställde sig bakom förslaget, och ett nationellt initiativ har tagits. Kritiska röster har dock hörts avseende de kostnader som ESS skulle medföra för Sverige trots stöd från EU.

2.2.3 Finansiärerna

Det finns ett antal olika offentliga och privata finansiärer i det svenska systemet. Forskningsstiftelserna har visat stort intresse för nanoteknikområdet. Stiftelsen för Strategisk Forskning satsade närmare 70 miljoner kronor på området under 2005. Även Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse har satsat uppskattningsvis 78,8 miljoner kronor år 2005, främst på utrustning. VINNOVA är den viktigaste svenska statliga myndigheten för företagsnära nanoteknisk forskningsfinansiering inom ett antal relativt spridda åtgärder och program. 2005 satsade myndigheten över 50 miljoner SEK på området. För Vetenskapsrådet, som är den statliga forskningsfinansiären inom grundforskning, är motsvarande siffra ca 40 miljoner SEK. Även EU är en stor finansiär i sammanhanget och 2005

[41] Mindre renrum finns vid övriga högskolor och institut.

tecknades kontrakt inom ramprogrammet för forskning och utveckling, RP6 som gav svenska aktörer kring 14 miljoner SEK. EU finansierar även nanoteknisk aktivitet i Sverige genom strukturfonderna, exempelvis i projektet Nano Øresund[42]. De nationella aktörerna och EU:s satsningar inom RP6 listas i bilaga D.

Det finns även ett antal generella aktörer som finansiellt stöder utvecklandet av innovationer, men som inte har nanoteknikspecifika program. Bland dessa kan nämnas högskolornas inkubatorer, Innovationsbron, Industrifonden, ALMI innovation och privata riskkapitalbolag.

Förutom svenska företag har utländska företag, inklusive utländska riskkapitalbolag, finansierat forskning och utvecklig i Sverige. Det finns även utländska statliga finansiärer, exempelvis US Office of Naval Research som finansierar nanoteknisk forskning på LU.

2.2.4 Policyn

Ett antal aktörer påverkar innovationssystemet genom att ge direktiv, skapa lagar och värderingar och på annat sätt påverkar systemets ramverk och struktur. Även ovanstående finansiärer verkar politiskt.

Närmare 30 länder har initierat någon form av nationellt initiativ för satsningar på nanoteknik och även på EU-nivå har det lagts fram en strategi inom området. USAs *Nanotechnology Initiative* som initierades år 2000 har varit ett startskott för många policyaktörer världen över att skapa nationella strategier för att samordna forskning, utveckling och kommersialisering av nanoteknik. I forskningspropositionen *Forskning för ett bättre liv*[43] pekade svenska regeringen på nanoteknik som ett område med industriell potential där Sverige ligger i forskningsfronten. Regeringen konstaterar även att området är av strategisk vikt på längre sikt. Samtidigt framhåller man att bilden av forskningen och näringslivets engagemang inom området är fragmenterad. Trots det har Sverige inte en nationellt samlad strategi med politisk förankring utan förslag som har lagts fram avslogs i riksdagen[44].

EU-kommissionen presenterade den 12 maj 2004 meddelandet *Mot en europeisk strategi för nanoteknik* [45]där syftet är att stärka den europeiska positionen inom nanotekniks forskning och innovation. I slutmeddelandet från den 7 juni 2005 presenteras en handlingsplan för nanotekniken i Europa fram till 2009[46]. Handlingsplanen framhäver behovet av tvärvetenskapliga

[42] Se även kapitel 2.3.2.
[43] Regeringen (2005)
[44] Ahlgren och Jonsson (2005)
[45] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2004)
[46] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2005a)

tillvägagångssätt, intensifiering och samordning av forskning på nationell och europeisk nivå, uppbyggandet av en FoU-infrastruktur i världsklass, behovet av utbildning och fortbildning av humankapital, möjliggörandet av kommersialisering genom lämpligastandards och immaterialrättsliga strukturer. Särskilt betonas vikten av att möta samhällets förväntningar och farhågor och utföra riskbedömningar. Delar av handlingsplanen ämnar kommissionen själv sätta i verket, men flera uppmaningar till medlemsstaterna att agera nationellt framförs också.

I ljuset av detta och med anledning av Sveriges avsaknad av ett nationellt initiativ inom nanoteknik startade IVA ett projekt[47] för att skapa en långsiktig strategi och presenterade år 2006 plan för det svenska innovationssystemet inom nanoteknik.

En nordiskt ansats för att samordna och kraftsamla kring nanoteknikområdet gjordes av inom nordisk innovationscenter (NICe) under 2003-2004. Målet var att koordinera och öka forskningen i de nordiska länderna och resultatet blev *The Nordic MINT (micro- and nanotechnology) initiative.*[48] Fokus för initiativet ligger på att kommersialisera befintlig forskning.

Även OECD har agerat inom nanoteknikområdet. Organisationen har sett behovet att minska och undvika osäkerhet gällande regleringar, främst inom patentering och standardisering. OECDs kommitté för forsknings- och teknikpolitik överväger i skrivande stund hur man ska jobba vidare med policyfrågor kring nanoteknik, där USA har varit den pådrivande aktören. Ett första möte har ägt rum men ännu har inget beslut tagits för en konkret handlingsplan.49

Arbete kring nanoteknik pågår även inom FN som uppmärksammade området redan 1997 genom aktivitet på UNIDO, United Nation Industrial Development Organisation. Idag arbetar man bland annat med standarder och handelsfrågor, samt teknikutveckling i utvecklingsländer och miljöaspekter på nanoteknik. UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, arbetar med etiska frågor och forskningsfrågor kring nanoteknik.

2.3 Ramverk och nätverk

Ett innovationssystem påverkas av ramverk[50] och nätverk inom och utanför dess gränser. Vissa är generella för det nationella innovationssystemet och

[47] IVA (2006b)
[48]Nordisk InnovationsCenter (2006)
[49] OECD (2006)
[50]I detta fall lagar, regleringar och standards, annars även kulturer och attityder

andra är unika för nanoteknik. I detta kapitel läggs tyngdpunkten på ramverk och nätverk som specifikt påverkar nanotekniken, samt några generella som i särskilt stor utsträckning påverkar nanoteknikens innovationssystem[51].

2.3.1 Ramverk

Diskussioner kring nanoteknik och ramverk kretsar idag ofta kring lagar och regleringar som kortsiktigt kanske begränsar användandet av nanoteknik men som långsiktigt gynnar områdets tillväxt genom minskad osäkerhet.

Det finns idag inga specifika nationella lagar och regleringar som berör nanoteknikens innovationssystem i Sverige. Detta gäller även övriga världen, med undantag av USA:s *21st Century Nanotechnology Research and Development Act*[52] som innehåller direktiv rörande aktiviteter inom NNI, the National Nanotechnology Initiative. Många aktörer i USA tror att de prioriteringar som görs i lagen rörande forskning inte är allt igenom gynnsam för nanoteknikens utveckling. Dessutom innehåller lagen regleringar rörande samhälleliga aspekter av nanoteknik som kan komma att påverka aktiviteter inom området. I USA har även the National Institute of Occupational Safety and Health[53] presenterat ett antal rekommendationer för hanteringen av nanomateria för forskning och produktion. Även the US Food and Drug Administration tittar på behov av regleringar kring nanoteknik inom sitt område[54], trots att inga formella regleringar med nanoteknik som utgångspunkt finns. För tillfället ser man på nanomateria som en variant av materialet i bulkform. Trots att dessa initiativ från amerikanska aktörer inte direkt påverkar de svenska aktörerna på kort sikt påverkar de utvecklingen och framgången av svenska nanoteknik-innovationer givet potentialen i den amerikanska marknaden och USA:s roll som föregångsland gällande nanoteknikfrågor.

Trots att särskilda lagar och regleringar saknas nationellt och inom EU finns en del aktivitet på området, speciellt gällande miljö- och hälsoaspekter. Idag finns det materialregleringar på EU nivå som i Sverige handhas av kemikalieinspektionen. Dagens toxikologiska regleringar baseras på bulkmaterialens egenskaper och det kan därför vara svårt att förutsäga effekten på omgivningen av materialen i nanometerstorlek givet de nya egenskaper som då kan uppträda. EU:s regleringar rör vidare endast

---

[51] Generella frågor som exempelvis forskningsetik och det generella svenska företagsklimatet berörs alltså inte i detalj men det utesluter inte att de är av vikt för systemets förmåga att generera innovationer.
[52] OLPA (2006)
[53] NIOSH (2006)
[54] US Food and Drug Administration (2006)

användningen av ämnen som släpps ut i mer än ett ton, vilket kan ses som väldigt stora kvantiteter om det rör sig om nanopartiklar. Frågan är då om toxikologiska aspekter på nanoteknik ska regleras separat och om det är möjlig att göra detta inom ramen för dagens toxikologiska regleringar. En av EU-kommissionen tillsatt arbetsgrupp har dragit slutsatsen att dagens struktur för toxikologiska regleringar är tillräckliga för att även täcka nanoteknik och att strukturer och partiklar utvecklade från existerande ämnen skulle klassas som en särskild användning av dessa. Nya material som skapats med nanoteknik skulle klassas som nya material. En särskild lagstiftning för nanoteknik ansågs alltså inte vara nödvändig utan arbetsgruppens slutstats blev att nanopartiklar och strukturer skall hanteras inom den befintliga kemikalielagstiftningen[55].

Standarder är ett viktigt inslag i ett innovationssystem eftersom de ofta bidrar till tillväxt genom att sprida teknisk kunskap i systemet, underlätta samordning av utveckling samt underlätta inträdet på nya marknader. Det är dock svårt att generellt tala om nanoteknik i standardiseringssammanhang. Idag finns ett antal stora standardiseringsorganisationer, exempelvis ISO, DIN, EIC, CEN, ANSI och IEEE, som alla arbetar med standardisering inom nanoteknik. Ett fåtal spridda standarder finns inom olika delområden för nanoteknik och standardiseringen anses generellt vara otillräcklig. Det saknas en enhetlig nomenklatur för området och sällan har organisationer kommit längre än att konstatera avsaknaden och behovet av standards. Vissa europeiska aktörer ansåg år 2004[56] att det inte fanns behov för standardisering eftersom tekniken var i en för tidig fas och patenterings-aktiviteter, som ofta ligger till grund för standardisering, fortfarande låg i skuggan av publiceringen. Dock ökar standardiseringsaktiviteter och i november 2005 höll den internationella standardiseringsorganisationen ISO[57] ett inledande möte om standardisering av nanoteknik. Syftet var att söka standards kring terminologi, nomenklatur, mätmetoder, modellering och simulering samt hälso- och miljöaspekter.

Nanotekniken karakteriseras av djup förankring i akademi. Området anses fortfarande vara nära kopplat till den akademiska forskningen och det är många gånger inom universiteten, och inte på företagen, som grundidéerna till nanotekniska innovationer föds. Detta gör att regleringar som det så kallade lärarundantaget[58] påverkar innovationssystemets tillväxt. Generellt äger arbetsgivaren rätt till en arbetstagares patenterbara uppfinningar. Dock undantas ”lärare vid universitet, högskolor eller andra inrättningar som

[55] IVA (2006)
[56] Nanoforum (2004b)
[57] ISO (2006)
[58] LAU 1949:345, Regeringens lagrum (2006)

tillhör undervisningsrätten” från lagen. Detta leder till att lärare, forskare och doktorander äger rätten till sina patenterbara uppfinningar, och med det kommer även möjligheten till att kommersialisera idén. Det finns en generell bild av att forskare inom nanoteknik, givet den forskningsmässiga djupdykning som området kräver, ofta saknar erfarenhet av entreprenöriell verksamhet, varför kommersialisering av en idé kan tyckas avlägset för forskaren. I Sverige försiggår för tillfället en livlig debatt om lärarundantagets vara eller icke vara och vad det har för djupare implikationer för nanoteknik kvarstår att reda ut.

En annan generell nationell reglering är den så kallade ”tredje uppgiften”.[59] Enligt Högskolelagens ska högskolorna ”samverka med det omgivande samhället och informera om sin verksamhet". Detta kan ses som att akademin bör ta initiativ till att samverka, att interaktion, särskilt med näringslivet skall sökas aktivt från universiteten och högskolorna. Tillsammans med lärarundantaget har detta i vissa fall uppfattats som en press på akademin att ta rollen som nätverkare, trots att man inte alltid ser sig lämpad till det eller har tilldelats resurser för att utföra denna.

2.3.2 Nätverken

Idag finns mängder av nätverk som skär på längden och bredden inom nanoteknikområdet. Här presenteras de nätverk som bedöms mest relevanta för nanoteknikens innovationssystem i Sverige.

Nationella nätverk

Idag saknas en nationell näringslivsorganisation som samlar nanoteknik-industrin. Behovet av ett sådant är dock oklart men det är troligt att man skulle kunna få vissa synergieffekter av att ena de små och förhållandevis liknande näringslivsaktörerna.

Det nationella nätverk som i största utsträckning täcker nanoteknikområdet är Swedish Nano Network (Svenska Nanonätverket) som bildades 2000. Cirka 500 forskare från olika discipliner ingår tillsammans med näringslivsrepresentanter och andra aktörer med intresse inom nanoteknik. Detta politiska nätverk syftar till att främja nanovetenskapen och lyfta fram områdets potential för policyaktörer. Nätverket arbetar bland annat för att behålla svensk forskning i framkanten, öka forskningsanslagen till nanoteknik, öka forskningssamarbetet och interaktionen mellan akademin och näringslivet. Nätverket är för tillfället aktivitetsmässigt i ett relativt avvaktande tillstånd.

[59] Högskoleförordning 1977:263, Regeringens lagrum (2006)

µ-Fab, *The Swedish Micro and Nano Fabrication Network*[60], är ett nationellt nätverk som länkar samman de tre renrummen på CTH, KTH och UU. Syftet är att samordna den infrastruktur som erbjuds vad gäller forskning, utveckling och verifiering[61] vid dessa tre faciliteter. Närverket grundades 2003 på ett förslag från en utvärdering av de tre renrummen[62]. Aktivitetsnivån på nätverket bedöms som relativt låg.

Nätverk kring forskargrupper

Forskargrupperna inom nanoteknikområdet bildar noder i egna formella och informella nätverk med nationella aktörer. Centrumbildningarna[63] sammankopplar individer på olika institutioner inom universiteten liksom mellan universitet och i vissa fall drar de till sig institut, näringslivsaktörer och andra organisationer. Även om de specifika centrumbildningarna inte alltid formellt genom sina projekt bygger nätverk utanför högskolan, interagerar deltagande forskargrupper genom andra nätverk med sin omvärld. Ofta finns välutvecklade internationella samarbeten. De centrumbildningar som finns vid LU är samlade kring Nanometerkonsortiet som har ett antal etablerade nationella samarbetspartners. Redan då Nanometerkonsortiet bildades fanns företag som Epigress, Ericsson och Tetrapak knutna till LU. Ett antal företag har grundats på forskarkompetens från centrat och återfinns idag som samarbetspartners. Qumat Technologies, QuNano och Nems är några. Ytterligare samarbete finns, exempelvis med Aimpoint, Obducat och även med Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI.

På KTH har man samlat två institutioner och industriforskningsinstitutet KIMAB under titeln Hierarchic Engineering of Industrial Materials. Detta centra är inte strikt nanotekniskt men innehåller många inslag av nanoteknik. Höganäs, Sandvik Tooling och Seco Tools finns kopplade till centrat, liksom spin-off-företaget NM Spintronics.

Ångströmslaboratotiet vid UU är Sverige största renrum. Laboratoriet samlar aktörer och bildar ett informellt nätverk av forskargrupper inom och utanför universitetet, samt aktörer från näringslivet som Piezomotor, Åmic, Chromogenics och Silex Microsystems.

På CTH är verksamheten inom nanoteknik samlad kring MC2 och samarbetet med GU är väl utvecklat. Genom centrat NANODEV är man även uppkopplad mot KTH och samarbetet med andra nationella och internationella universitet är starkt, speciellt genom deltagande i EU-

---

[60] Myfab (2006)
[61] Då man understödjer, kontrollerar och skyddar sin idé till exempel genom nyhetsgranskning, prototypframtagning och patentansökan.
[62] Vetenskapsrådet (2002)
[63] Se bilaga C

projekt[64]. Under tio år har Centrumbildningen CHACH[65] kopplat samman två institutioner på CTH med företag som Zarlink, Ericsson och Saab. Man har även samarbete med Acreo och Imego. Genom renrummet MC2 finns starka band till mindre nanoteknikföretag, ofta egna spin-offs, som Nanofactory Instruments och Cellectricon.

I Linköping finns centrumbildningar kring material- och ytteknik. FunMat, där man samarbetar med UU och Luleå Tekniska Universitet, anknyter även storföretag som ABB, Volvo Technology, Sandvik Tools och Seco Tools, och mindre företag som AppliedSensor och portföljbolaget Accelerator.

Det finns geografiska grupperingar kring storstadsregionerna och till de stora högskolorna. Ofta stannar avknoppningar kvar nära moderuniversitetet och ofta är det regionala aktörer som knyts till renrummen, med undantag för enstaka aktörer i behov av specifika instrument. Det har även noterats viss konkurrens mellan de olika regionerna, delvis baserat på det svenska forskningssystemets finansieringsstruktur. Då grupper tvingas konkurrera om anslag, inte bara mellan universiteten, utan i vissa fall även mot instituten, kan det leda till att spänningar i systemet bildas och grupperingar, ofta geografiska sådana, uppstår. Detta skapar givetvis hinder för det nationella nätverkandet.

Nätverk kopplade till EU

EU-kommissionens arbete med nanoteknik har skapat många nätverk. Det viktigaste är Nanoforum[66] som syftar till att länka samman all aktivitet inom nanoteknik i EU och sprida information inom alla områden av nanotekniken till forskare, företagare och allmänhet. I en Nanoforumrapport från 2005[67] identifierades 64 internationella nätverk inom nanoteknik, främst lärande nätverk kring forskning, men även inom innovation och patentering samt rena politiska nätverk. Många av dessa nätverk är strukturer som byggs upp kring projekt inom EU:s ramprogram. Svenska aktörer deltar i totalt 58 projekt inom ramen för det sjätte ramprogrammet, RP6, och är genom dem med i några av de nätverk som finns. 13 projekt med flera internationella deltagare koordineras dessutom av svenska aktörer (bilaga E)

NODE är det största projektet koordinerat av en svensk aktör och förutom LU är Qumat Technologies med som svenska deltagare. Ett annat stort projekt där LU deltar men inte är koordinator är Nano2life[68], ett så kallat

---

[64] Se bilaga E
[65] Finansierat av VINNOVA/NUTEK 1995-2005
[66] Nanoforum.org (2006)
[67] Nanoforum (2005), Tyvärr visar en snabb granskning av materialet på bristfällande grunddata.
[68] Nano2life (2006)

Network of Excellence, som integrerar kompetens inom nanobioteknik, både vad gäller forskning, utveckling och innovation. SINANO[69] är ett annat projekt där hela fem svenska aktörer finns, dock endast från högskolor. CTH, GU, KTH, LiU och UU deltar i detta Network of Excellence tillsammans med 42 andra aktörer. Nätverket ämnar samla europeisk expertkompetens inom kiselbaserade nanokomponenter för elektronik.

Ett exempel på ett samordnande nätverk som finns inom ramen för RP6, ett så kallat ERA-Net, är MNT-ERA-Net. Detta nätverk för mikro- och nanoteknik samordnar nationella satsningar på området och består av nationella finansiärer. Nätverket startades 2004 och väntas löpa under 4 år. Idag ingår 17 länder i nätverket, där VINNOVA står som svensk representant[70].

EUREKA är ett annat av EU:s instrument rörande marknadsorienterad, industriell forskning och utveckling. Totalt finns 11 nanorelaterade projekt med svenska deltagare. Ett av dessa är NANOCRETE som rör utveckling av cement med nya fotokatalytiska egenskaper. Detta projekt bildar ett nätverk där sju svenska aktörer ingår tillsammans med tre finländska, bland andra Skanska, Cementa och YKI.

I dag finns 30 så kallade europeiska teknologiplattformar som skapar formella nätverk av näringslivsaktörer. Dessa syftar till att definiera forskningsbehov och prioriteringar inom en teknik eller sektor och består ofta av större företag. Idag finns två plattformar inom nanoteknik, ENIAC - *European Nanoelectronics Initiative Advisory Council* och NanoMedicine - *Nanotechnologies for Medical Applications*. ENIAC samlar kring 45 företag aktiva europeiska nanoelektronikföretag. Från Sverige finns Air Liquide, Ericsson och Infineon. NanoMedicine är en nystartad plattform från hösten 2005 och har också kring 45 medlemsföretag men endast ett svenskt, nämligen Gambro[71].

Multinationella politiska nätverk

Det finns många politiska nätverk relaterade till nanoteknik som verkar för att gynna och lyfta fram nanoteknik ur olika aspekter. Nano Øresund är ett exempel på ett politiskt och lärande nätverk som länkar samman svenska och danska forsknings-, utbildnings-, infratrukturs- och innovationsresurser

[69] SINANO (2006)
[70] MNT ERA-Net (2006)
[71] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2005c)

i Öresundsregionen. Syftet är att samordna regionens resurser och att marknadsföra regionen internationellt[72].

European Nanobusiness Association är ett annat exempel. Det är den europeiska branschorganisationen för nanoteknik[73]. Organisationen är relativt nyetablerad och dess aktivitet samt antalet medlemmar är okänt.

Många av de övriga internationella nätverken har även politiska funktioner.

Övriga internationella nätverk

Det finns ett stort antal internationella nätverk inom nanoteknik. GNN, the Global Nanotechnology Network är ett som samverkar främst genom workshops kring nanoteknik[74]. Alla typer av aktörer, från industri, akademi och statliga organisationer, finns representerade. Bland annat KTH och LU har medverkat i wokshops som GNN anordnat. Nätverket grundades 2001 och syftet är att underlätta kunskapsutbyte och tillgång till kritiska resurser för utveckling av nanoteknik.

Nanovip[75] är ett annat nätverk för företag som sysslar med nanoteknik. Det huvudsakliga syftet är att samla all verksamhet kring nanoteknik på en hemsida. Deras företagsdatabas är den första som endast fokuserar på nanoteknik.

Det finns även nätverk kring standardiseringsfrågor som både kan betecknas som politiska och lärande. Dessa presenterades i kapitel 2.3.1. Ett exempel på detta är det nätverk som byggs upp kring IEEEs, Institute for Electric and Electronic Engineers. De arbetar med bland annat nanoteknikstandarder inom elektronik. IEEE Nanotechnology Council bildar ett virtuellt nätverk för aktörer inom området.

[72] Nano Øresund (2006)
[73] European Nanobusiness Association (2006)
[74] Global Nanotechnology Network (2006)
[75] Nanovip.Com (2006)

3 Sveriges förutsättningar att skapa nanoteknikinnovationer

I föregående kapitel presenterades strukturen kring nanoteknik i Sverige. Följande kapitel tar upp strukturens kapacitet att skapa innovationer med avseende på aspekter som är viktiga för innovationssystemets prestanda[76] . På så sätt ges en bild av de svenska förutsättningarna för att skapa nanoteknikinnovationer och tillväxt.

3.1 Drivkrafterna

Drivkrafter skapar riktlinjer och attraherar aktörer till nanoteknisk verksamhet. Då ett nytt område, som nanoteknik, växer fram behöver aktörer ledsagning. Samtidigt behövs fler aktörer i innovationssystemet för att skapa en kritisk massa så att systemets tillväxt ska ta fart.

Aktiviteten inom nanoteknik har under de senaste åren ökat explosionsartat. Dels på grund av att aktörer ökat sin verksamhet inom nanoteknik, dels för att allt fler aktörer relaterar sin befintliga verksamhet till nanoteknik. Nanoteknik som hype har till en början drivit på detta. Idag påstås det att hypen börjar svalna men ingen nedgång i patentering har kunnat påvisas. Dock identifieras en nedgång i riskkapitaltillgången för nanorelaterade projekt[77].

Idag kan två generella drivkrafter för tillväxten av nanoteknikens innovationssystem, förutom marknadspotentialen, identifieras, en politisk och en ingenjörsmässig. Dessa två påverkar attraktionen av aktörer till området nanoteknik.

Den politiska drivkraften inom nanoteknikens innovationssystem är i stor utsträckning visionär. Politiska visionärer formulerar ofta framtidsbilder där nanotekniken väntas ha oerhörda ekonomiska, miljö- och hälsomässiga effekter i framtiden. Detta driver policyaktörerna att kraftsamla kring området. Genom exempelvis National Nanotechnology Initiative i USA och EUs initiativ har policyaktörerna tagit en framträdande roller som drivkrafter i systemet.

Trots att press läggs på akademin att kommersialisera och näringslivet att samverka handlar det egentligen inte om en pull-drivkraft i systemet

[76] Bergek et al (2005)
[77] Se vidare kapitel 3.6.2.

eftersom en drivande kund eller en efterfrågande marknad ännu inte finns eller inte har identifierats. Resultatet blir då en slags påtvingad push-drivkraft på att skapa innovationer i systemet som läggs på akademin, vilken inte alltid är bekväm i den rollen. Detta är generellt för det svenska innovationssystemet.

Forskare har ibland svårt att relatera till de storartade visioner som byggs upp kring nanoteknik. Vissa menar att nanoteknik inte är något nytt utan en ny etikett på forskning som pågått länge. Begreppet nanoteknik uppfattas ibland som mer politiskt än vetenskapligt[78]. Nanoteknikens hype-stämpel och koppling till storartade visioner om att frälsa världen har lett till att aktörer avfärdat området och inte velat förknippa sin egen verksamhet med det av rädsla för att bli associerade med fantasifullhet och osäkerhet[79].

Trots att det finns en uttalad marknadspotential har inte en kritisk massa av aktörer i Sverige sökt sig till det svenska innovationssystemet. Detta kan relateras till de visionära inslagen i marknadsskattningarna som ofta ligger på en väldigt generell nivå, samt avsaknaden av en konkret efterfrågan från marknaden. Ingen kommer troligen någonsin att efterfråga nanoteknik för nanoteknikens skull. Det är när konkreta applikationer som visar på nya egenskaper kommer som efterfrågan skapas, och då inte på nanoteknik utan på applikationerna i sig. Detta gör att marknaden som konkret drivkraft för tillväxt från innovationer först kommer att märkas när fler nanoteknikprodukter kommer ut på marknaden och möjligheterna konkretiseras. I USA har NNI och relaterade satsningar lyckats locka aktörer till systemet. Tack vare initiativet förvandlades nanoteknikaktörerna i USA från en skara optimister till en kritisk massa[80], vilket märks i antalet företag som finns i det amerikanska systemet.

Allt fler svenska aktörer sluter nu också upp bakom begreppet nanoteknik. Att fundera kring huruvida begreppet nanoteknik är en verklig hype, så som många bestämt hävdade för ett antal år sedan, eller om det är en verklig ny värld där nya multidisciplinära vetenskapsmän kommer att skapa revolutionerade lösningar på stora problem är inte längre väsentligt, eftersom det svenska innovationssystemet kring det redan börjar ta form. Det finns idag ett antal aktörer som delar visioner, samverkar och som diskuterar kring mål för området, även om det ej sker samordnat på nationell nivå. De bildar strukturen i det som kan betraktas som ett innovationssystem[81].

---

[78] Fogelberg (2002)
[79] Karhi (2006)
[80] Karhi (2006)
[81] Fogelberg (2002)

Det europeiska initiativet har bidragit till tillväxt av det svenska innovationssystemet, eftersom det finns en politisk vilja att samla sig kring begreppet på EU-nivå. Inom det sjätte ramprogrammet noterades, som ett exempel på EU:s vilja att skapa drivkrafter för innovation, en tyngdpunktsförskjutning vad gäller den nanotekniska forskningen, från forskning till innovation[82].

Den andra drivkraften för att locka aktörer till systemet är relaterad till ingenjörsmässiga möjligheter och lösningar på problem som nanotekniken presenterar. Ett exempel är miniatyriseringen, som anses vara oundviklig när man söker ökad prestanda inom bland annat elektroniken. Ofta har tillämpningar inom mikroelektroniken pekats ut som den viktigaste av drivkraften för nanoteknikens utveckling. Som exempel kan nämnas transistorer, lasrar och detektorer för fiberoptisk kommunikation. I takt med att strukturer blir mindre och mindre bli övergången till nanoteknik nödvändig. Aktörer kommer då in i systemet i jakt på bättre prestanda. Det är ofta så här som näringslivsaktörer lockas till systemet. Genom att kontrollera och bygga utifrån de minsta beståndsdelarna kan nya och förbättrade funktioner skapas.

Politiska och ingenjörsmässiga drivkrafter existerar parallellt och kompletterar på sätt och vis varandra. Båda bidrar till att locka nya aktörer till systemet, men de sammanstrålar inte alltid. De lockar olika typer av aktörer till systemet som har olika syften med sin verksamhet. För att gynna systemets framtida tillväxt är det viktigt med medvetenhet om dessa båda drivkrafter och hur de fungerar.

Det finns en geografisk drivkraft givet innovationssystemets avgränsning som driver aktörer inom nanoteknik till Sverige. Det är lätt att locka unga, utländska och ambitiösa människor till Sverige, eftersom den svenska akademiska verksamheten inom nanovetenskap uppfattas som stark. Dock upplevs det vara desto svårare att behålla dessa unga aktörer och dessutom locka mer seniora forskare. Detta kopplas ofta till brister i finansierings-systemet i akademin där man måste kunna påvisa att man byggt upp en stark forskargrupp innan man får resurser. Detta blir ett moment 22 för inflyttade forskare eftersom det tar tid att bygga upp en sådan.

Den starka kunskapsbasen inom akademin lockar även internationella näringslivsaktörer då de svenska aktörerna innehar specialkompetens inom några områden. Även de nyetablerade kunskapsintensiva företagen framhåller vikten av den svenska akademin, speciellt vad gäller tillförsel av humankapital. Dock saknar många företag inom nanoteknik svenska kunder

[82] Fogelberg (2002)

och anser sig vara relativt obundna till Sverige. Samtidigt har det framhållits att svenska referenskunder är viktiga för att slå sig in på marknaden eftersom dessa, trots att de inte är finansiellt starka, ofta ses som kompetenta på den internationella spelplanen. Dessutom upplevs en avsaknad av kapital i den svenska marknaden som hämmar aktörer att träda in. Ju starkare och mognare näringslivsaktörer blir, desto svagare blir den nationella drivkraften kopplat till geografisk närhet och tillförsel av kunskapskapital från den svenska akademin. Man har då resurser att se sig om på den internationella spelplanen och drivkraften för att söka sig till det nationella system handlar då mer om aktörens specialkompetens inom ett specifikt område.

Det kan konstateras att det idag inte finns några starka ledsagare i det nationella systemet så som drivande kunder eller andra aktörer som kan skapa riktlinjer. Avsaknaden av en svensk strategi eller ett initiativ och drivande svenska aktörer försvårar utvecklingen av gemensamma riktningar för systemet.

3.2 Nanotekniska kunskapsbasen

Att utveckla nanoteknikinnovationer förutsätter vetenskaplig eller teknologisk kunskap och för att kunskapen ska leda till innovationer krävs att kunskap sprids mellan aktörer.

3.2.1 Vetenskaplig kunskapsnivå

Den vetenskapliga kunskapsnivån inom nanoteknik i Sverige uppfattas generellt som hög av nationella aktörer och även internationellt[83]. Den svenska forskarkåren uppfattas som framstående och Sverige har goda förutsättningar att utvecklas ytterligare inom nanoteknisk forskning.

Antalet vetenskapliga publikationer som ett land producerar är ett vanligt mått på vetenskaplig produktion. Sverige är ett av de 20 länder som mellan åren 1994-2004 publicerade mest nanorelaterade publikationer (bilaga F)[84]. 1992-2001 producerade Sverige över 1 800 publikationer, 1,8 % av den totala produktionen[85]. Sverige har haft en ökningstakt i nanoteknik-publikationer liknande den hos Nederländerna, Italien, Österrike, Spanien och Israel[86]. Länder som Kina, Indien och Korea har dock ökat i avsevärt snabbare takt. Relaterar man antalet publikationer till invånare eller BNP[87] ligger Sverige bland de främsta, men relaterat till nationella satsningar på

[83] Meyer et al (2001)
[84] EPSRC (2005) data från ISI Thomson, beställd och publicerad av EPSRC
[85] Meyer (2005a)
[86] Meyer (2005a)
[87] Noyons et al (2003)

forskning[88] hamnar Sverige på sjuttonde plats och på nionde plats i förhållande till antalet forskare[89].

De svenska nanorelaterade publikationerna håller en kvalitativ nivå som matchar kvantiteten av publikationer. Mätt i citeringsfrekvens[90] ligger Sverige på trettonde plats[91]. Flera konkurrentländer, som Schweiz, Israel och Nederländerna, visar på högre vetenskaplig kvalitet i de resultat som publiceras (bilaga F). Sverige har haft en relativt stabil utveckling vad gäller vetenskaplig kvalitet i publikationer. Andelen citeringar som refererar till svenska publikationer har ökat i likhet med länder som Israel och Ryssland, medan länder som USA, Storbritannien och Japan tappat, samtidigt som Kina och Korea fördubblat och nästan tredubblat sin andel av citeringar under nittiotalet[92]. Ett antal svenska universitet utmärker sig kvantitativt, och något färre kvalitativt[93].

Sverige visar på en måttlig grad av fokusering på nanoteknik. Av den totala mängden svenska publikationer 1993-2003 är 4,6 % nanorelaterade, en aning högre än världsgenomsnittet. Sverige ligger dock långt ifrån den fokusering som Kina och Korea visar. I princip samtliga länder i världen uppvisar en ökad fokusering på nanoteknik. Speciellt USA har ökat sin andel avsevärt[94]. Även inom RP6 finns visst svenskt fokus mot nanoteknik (bilaga G), men i förhållande till länder som Tyskland, Frankrike och Belgien handlar det om en måttlig grad av fokusering. Sverige placerar sig på åttonde plats med avseende på andelen erhållna medel, en vanlig placering för Sverige i ramprogramssammanhang. Sverige har hittils (per 2006-01-24) erhållit 27 miljoner euro relaterade till nanoteknik inom FP6, vilket motsvarar 4,8 % av de nanorelaterade anslagen.

Det finns idag en uttalad rädsla för att den svenska forskningskompetensen släpar efter något, vilket svagt urskiljs i bibliometrisk data[95]. Det har även pekats ut enstaka kunskapsluckor inom specifika områden, som hög-hastighetsfotonik och i tvärsnittet mot biotekniken. En djupare analys av kunskapsbasen och innovationssystemets behov av kunskap behövs för att peka ut svagheter i detalj. Det finns emellertid uppfattningar om att svensk forskning spretar något och att det leder till eftersläpningar på djupet inom

---

[88] GERD, Gross Domestic Expenditure on Research and Development
[89] Meyer (2005a)
[90] antal citeringar per artikel
[91] Meyer (2005a)
[92] Meyer (2005a)
[93] Se bilaga B
[94] Warris (2004)
[95] Sverige föll ner en placering i världsrankingen i antalet citeringar, från sextonde till sjuttonde plats mellan åren 2000-2004.

vissa områden[96]. Samtidigt finns en medvetenhet i systemet om svårigheten i att både upprätthålla bredd och djup och en önskan att hitta en svensk nisch inom vilken de svenska resurserna kan fokuseras. Att identifiera och kraftsamla kring en nisch kräver att de svenska aktörerna samarbetar och vågar prioritera i större utsträckning än idag. För att göra detta krävs att aktörer lägger om sin forskningsinriktning och för att möjliggöra det bör tillräckligt starka incitament skapas.

3.2.2 Teknisk kunskapsnivå

Patenteringsaktiviteten kan ge en uppfattning om ett lands tekniska kunskapsnivå[97]. Antalet svenska nanoteknikpatent har ökat från knappt 30 patent under första halvan av nittiotalet till över 140 under perioden 2000-2004, och tillväxttakten väntas vara fortsatt positiv[98]. Sverige är ett av de få länder som lyckats öka antalet nanorelaterade patent. Svensk patenteringsverksamhet ligger något över det internationella medeltalet, både i absoluta tal och i förhållande till landets storlek. Inom det Europeiska patenteringssystemet, EPO, godkändes 41 svenska nanotekniska patent under åren 1992-2001, en tolfteplats i jämförelse med övriga länder. I det amerikanska systemet, USPTO, var motsvarande siffra 18 patent, motsvarande en femtondeplats.

I snitt skapar svenska aktörer ca 0,5 USPTO patent per 1000 forskningsårsverken. Detta är klart lägre än motsvarande nivåer för länder som USA, Nederländerna, Schweiz och Kanada. Jämförs de svenska USPTO-patenten med antalet invånare hamnar Sverige på elfte plats (bilaga H). Detta är ett svagt resultat jämfört med publiceringsaktiviteten. Sverige verkar vara starkare på nanovetenskap än på nanoteknik.

Orsakerna till Sveriges relativt låga patenteringsaktivitet är många. En orsak kan vara att svenska företag inte är inriktade mot nanorelaterad forskning i samma utsträckning som företagen i våra konkurrentländer. Tidigare visades att Sverige är måttligt riktad mot nanoteknik i RP6. Industrins del av anslagen inom RP6 är 9,4 % för nanoteknik och 14,3 % totalt. Den lägre svenska patenteringsaktiviteten kan även kopplas till en annorlunda

---

[96] Detta i sin tur leder till svårigheter för de framväxande kunskapsintensiva företagen som i vissa fall uttryckt svårigheter att få tag på personal med tillräckligt djup inom önskat område.

[97] Pga. nanoteknikens generiska karaktär är det idag förknippat med vissa problem att använda de standardiserade patentklasserna för att identifiera nanopatent. Dessa återfinns i flertalet traditionella patentklasser. Det finns även en hel del generell problematik kring användandet av patent som indikator, bland annat förknippat med företags behov av att sekretessbelägga istället för att patentera då patent avtäcker idén för konkurrenter. Olika företag har olika patenteringsstrategier och olika branscher har olika patenteringskultur. Patenteringsaktiviteten skiljer sig åt för olika patenteringsorganisationer.

[98] Meyer (2005b)

patenteringsstrategi bland svenska nanoteknikföretag. I det svenska näringslivet inom nanoteknik finns många små aktörer med förhållandevis knappa resurser. Att hålla och försvara ett patent är resurskrävande, vilket försvårar för små aktörer. En annan förklaring till den svaga patenterings-aktiviteten i förhållande till den vetenskapliga kvaliteten kan vara att kopplingen mellan forskningen och patentering är svag inom nanoområdet. Ännu en anledning kan vara att svenska företag inte har profilerat sina patent som ”nanoteknik”, vilket gör dem svåra att identifiera.

Den tekniska kunskapen i systemet uppfattas som bristfällig av flertalet aktörer i det svenska systemet. Denna bild styrks ytterligare av institutens relativt svaga roll som forskningsutförare. Trots att universiteten har allt starkare fokus på nanoteknikområdet arbetar näringslivet och instituten fortfarande mycket med mikroteknik[99]. Med tanke på systemets relativt tidiga fas kan detta ses som ganska väntat.

Mycket av den forskning som bedrivs på de svenska högskolorna är teoretiskt orienterad, vilket även är fallet för flertalet europeiska länder,[100] förutom för ett antal tyska universitet med en starkare teknisk orientering. Sveriges institutssektor är förhållandevis liten, vilket ökar betydelsen av teknisk forskning och utveckling i högskolan och näringslivet. Svenska nanoteknikaktörer i högskolan har framhållit att de svenska instituten skulle kunna vara en aktör för att utveckla den tekniska kunskapen, men att de behöver stärka kompetensen och för detta krävs resurser eller omprioriteringar. Näringslivssektorn är en generellt stark forskningsaktör i det svenska innovationssystemet. I fallet nanoteknik ligger dock tyngdpunkten fortfarande på akademin. För att kunna stärka en teknisk kunskapsbas är det viktigt att öka näringslivets aktivitet inom nanoteknik.

3.2.3 Spridning av kunskap i systemet

Det är inte bara viktigt att det finns tillräcklig kunskap, utan kunskapen måste också spridas mellan olika aktörer i systemet. Inom nanoteknik har spridningen av kunskap visat sig vara särskilt kritisk, dels med tanke på nanoteknikens starka tvärvetenskapliga karaktär, dels beroende på innovationssystemets tidiga fas då kunskapen behöver diffundera och mogna. Området har utvecklats från olika håll och då discipliner möts finns hinder i kunskapsspridningen. Forskare från olika discipliner har generellt olika svårt att förstå varandra. I gränssnittet mellan fysik och elektronik har det uppfattas som lättare att skapa förståelse mellan forskare medan gränssnittet mot biologin uppfattats som svårare. Givet att mycket av den

[99] Söderkvist och Vogel (2004)
[100] Heinze (2004)

framtida nanotekniken tros ligga i gränssnittet mot biologin är det viktigt att detta hinder uppmärksammas.

Som forskare är det lätt att bli för fokuserad på sitt område och svårt att hitta incitament till att ge sig ut i nya. Detta kopplas bland annat till finansieringsstrukturen för forskningen. Den stora andelen konkurrens-utsatta medel leder till att forskare specialiserar sig och sen inte vågar lämna sin specifika nisch med rädsla för att inte få förnyade anslag. Ibland handlar det även om kulturella aspekter och stoltheten i att vara främst inom ett område, vilket gör att man inte vill ge sig in på något nytt. Tvär-disciplinaritet kräver dynamik. Avsaknaden av incitament för mer dynamik i form av samarbeten, både i befintliga och i bildandet av nya grupperingar skapar hinder för spridning av kunskap. Detta är inte unikt för nanoteknikområdet, men av särskilt stor vikt givet områdets tvärvetenskapliga karaktär.

Det är viktigt med kunskapsspridning mellan svenska och internationella aktörer. Svenska aktörer deltar i ett antal nätverk och samarbetet med internationella aktörer, särskilt hos de större högskolorna, anses vara starkt. Många högskolor har starkt etablerade kontakter med utländska forskargrupper i Europa, USA och Asien och flera uppdragsforskar för utländska företag inom nanoteknik. För instituten finns förbättringspotential var gäller att utöka sitt internationella samarbete inom nanoteknik.

Patent offentliggör forskningsresultat och kan ses som ett sätt att sprida kunskap. Patenteringsaktiviteten i Sverige har konstaterats vara relativt svag, vilket långsiktigt sett hämmar utvecklingen av kunskap. Samma resonemang kan föras vad gäller standards. Ett standardiseringsarbete kräver en viss öppenhet vad gäller kunskap för att lyckas vilket kan medföra immaterialrättsliga problem.

En annan aspekt kopplat till kunskapsspridning är diffusionen av kunskap mellan akademin och näringslivet. Den aspekten diskuteras i nästa kapitel.

3.3 Kommersialisering

För att skapa en innovation som ger tillväxt räcker det inte med nanoteknisk kunskap. Kunskapen måste leda till nya idéer med potential att bli innovationer. Förmågan att producera på ett konkurrenskraftigt sätt och förstå marknaden måste finnas, tillsammans med affärsmässig kunskap. Att skapa innovationer som genererar tillväxt är inte en envägsprocess där nanoteknisk kunskap leder till idéer som man sen kan hitta en marknad för. I vissa fall är marknaden och kunskapen om dess behov utgångspunkten och den nanotekniska kunskapen finns där för att möta behovet.

3.3.1 Nya idéer till innovationer

Näringslivsaktörer behöver skapa diversitet och experimentera med idéer så att en massa skapas som underlag till innovationer. I ett system i en tidig fas, som nanotekniken, är detta viktigt då mycket osäkerhet finns i systemet. För att kunna täcka upp för denna osäkerhet behövs diversitet i näringslivets experimenterande med idéer. En stabil ökning i antalet nanoteknikrelaterade patent i Sverige har noterats[101] och i princip alla patent hör till näringslivsaktörer. Dock har det varit svårt att bedöma diversiteten och nyhetsgraden i dessa. Att aktivitet finns kan dock konstateras.

De små näringslivsaktörerna bidrar till experimenterandet ur ett systemperspektiv vid sitt inträde i systemet, då de i fallet med nanoteknik ofta baseras på en ny idé ifrån forskarvärlden. När de etableras på marknaden är dessa företags bidrag till det experimenterandet litet eftersom de är mer produktinriktade och ofta inte har resurser till att satsa på annat än sin egna befintliga idé. I det svenska innovationssystemet finns generella hinder för att etablera nya företag, bland annat relaterat till eventuell brist i riskkapital och kapital till försåddsfasen. Detta minskar inträdet av nya innovationer på spelplanen och minskar således experimenterandet med nya idéer.

Större aktörer har generellt haft större resurser att tillgå och större möjligheter att experimentera med nya idéer. Till exempel driver Sandvik egna forskningsprojekt inom nanoteknik, bland annat tillsammans med CTH. Det gör även, ABB som startade sitt forskningsprogram inom nanoteknik redan år 2000. Tetra Pak experimenterar med filmer i olika material för att skapa nya egenskaper hos förpackningar. Ett annat exempel är Volvo, som i samarbete med leverantörer och universitet tittar på nanometertunna plattor i katalysatorer[102].

I vissa fall skapar finansiärerna i systemet förutsättningar för experimenterandet. Ett exempel på detta är FOI:s program inom nanoteknik. I sina projekt kopplas akademin samman med näringslivet som experimenterar med målet att skapa kommersialiserbara innovationer. Det femåriga tidsfönstret i projekten visar på den tid det tar att utveckla färdiga kommersialiserbara produkter med utgångspunkt i nanoteknik. Exempel på större näringslivsaktörer som ingår i projekten är bolag inom koncernerna Sandvik, Volvo och Saab. Värt att nämna är att sistnämnda även har ett Venture Capital-bolag som underlättar kommersialisering av idéer som uppkommer inom bolaget, trots att inte den utvecklade tekniken är intressant för bolaget i sig.

---

[101] Meyer (2005b)
[102] Wallerius (2005)

Ett annat instrument för att öka det kommersiella experimenterandet med idéer är de så kallade VINN Excellence Centrerna[103]. Två centra relaterade till nanoteknik kommer att startas under 2007, *FunMat* i Linköping rörande tunnfilm, och *Hierarchic Engineering of Industrial Materials* vid KTH i Stockholm. Båda binder till sig en del större företag som ABB, Volvo Technology, Höganäs, Sandvik och Seco Tools. Dessa center har generellt ökat förutsättningarna för företagen att experimentera i nya områden[104].

För att nå bredd i experimenterandet gäller det att de större aktörerna vågar ge sig in på nya områden. Detta sker i allt större utsträckning inom nanotekniken, i takt med att tekniker mognar och klara applikationer visar på möjligheterna med nanoteknik och således lockar näringslivsaktörer.

3.3.2 Produktions-, affärs- och marknadsrelaterad kunskap

För att skapa innovationer som genererar tillväxt behöver produktions-, affärs- och marknadsrelaterad kunskap knytas till nanoteknisk kunskap. Aktörer, speciellt inom akademin, noterar att den produktionsrelaterade kunskapen är svag i Sverige. Förståelse för nanotekniska processer finns men produktionen är ofta en tröskel. Kunskapen om produktionsprocesser är nära kopplad till patentering och svagheterna inom patenteringsverksamheten visar på en svaghet i produktionsrelaterad kunskap.

Svenska aktörer omnämns generellt vara duktiga på systembyggande, men mindre duktiga på att producera komponenter. Speciellt kritiskt är detta inom nanoteknik då miniatyriseringen leder till att komponenter måste göras mindre och produktionsprocessen anpassas. All produktionsrelaterad aktivitet, som mätning, styrning, eltillförsel etc., måste krympas. Detta är krävande, speciellt för de små nanoteknikföretagen som menar att reproducerbarheten ofta är ett problem.

En ökad stress över att få ut innovationer på marknaden upplevs av många aktörer. Denna stress är inte specifik för nanoteknik utan generell för högteknologiska företag byggda på forskarkompetensen och relateras ofta till finansieringsstrukturen i det nationella innovationssystemet, där en lucka i verifieringsfasen[105] och försåddsfasen[106] precis innan bolagisering, flitigt omnämns. Man talar ofta om ett glapp mellan finansieringen av forskningen och såddfasen efter bolagsbildningen då riskkapital blir aktuellt. För att

[103] Se även bilaga C
[104] VINNOVA (2005)
[105] Då man understödjer, kontrollerar och skyddar sin idé till exempel genom nyhetsgranskning, prototypframtagning och patentansökan.
[106] Då uppfinnaren/entreprenören paketerar sin idé och genomför marknadsanalys och affärsplan.

överbrygga glappet sker bolagiseringen tidigt.[107] Detta trots att den produktions- och marknadsrelaterade kunskapen ännu inte är mogen.

Det finns inte en nanoteknikmarknad utan det handlar istället om ett antal marknader med produkter som innehåller nanoteknik. Det blir då svårt att skaffa lämplig marknadskunskap när ett nanotekniskt forskningsframsteg kan leda till produkter på vitt skiljda marknader. Ett exempel på detta är det brittiska företaget Nanomagnetics som med sin teknik tog sig från datalagring till vattenrening[108]. I andra länder, som till exempel USA, är förekomsten av affärsänglar mycket vanligare än i Sverige. Dessa aktörer tillför inte bara resurser i form av pengar utan bär ofta på affärs- och marknadsmässig kunskap och engagemang för det enskilda bolaget. Trots att sådant engagemang och stöd delvis ges till bolag via Innovationsbron och Industrifonden har det framkommit att det inte motsvarar stödet från en mindre privat aktör, som exempelvis en affärsängel.

Nanotekniken har ofta beskrivits som en push-teknik där kopplingen till marknaden varit svag på grund av att liten interaktion med näringslivet skett. Behovet av ett aktivt näringsliv är därför stort för att utveckla marknads- och affärsrelaterad kunskap kring nanoteknik. I vissa fall har aktörer gått samman för att skaffat sig kunskap om nanoteknikens möjligheter på en marknad[109]. Efter flera år av svalt intresse har nu det etablerade näringslivets intresse börjat vakna i och med att man till viss del kunnat påvisa nanoteknikens möjligheter. Idag kan ett skifte från technology-push till market-pull anas, exempelvis inom hälsa och sjukvård[110]. Dock är det kritiskt att detta intresse stärks för att det svenska innovationssystemet skall skapa tillväxt.

Vikten av marknadskunskap kommer att öka att i takt med att systemet mognar. Denna typ av kunskap är särskilt kritisk för de små nanoteknikföretagen och framgång är ofta kopplad till god marknads- och affärskunskap, många gånger knutet till en erfaren entreprenör[111]. Marknadskunskap är vidare särskilt viktigt för nanoteknikföretag eftersom den verkliga tillväxten knuten till nanoteknik inte väntas komma från företag som producerar nanomaterial, utan från företag som använder dem

[107] Gustafsson (2006)
[108] Cientifica (2006)
[109] Ett exempel på detta är NANOFOREST, ett projekt där man utveckla en roadmap för att identifiera områden inom nanoteknik som kan vara intressanta för skogsindustrin. Även Acreo har arbetat med att utveckla liknande Roadmaps för olika områden.
[110] Cientifica (2006)
[111] Johannisson och Lindholm-Dahlstrand (2006)

för att skapa nya applikationer i stora befintliga marknader, som hälsa och sjukvård, energi, miljö och livsmedel[112].

Sverige har förutsättningar att bli starkt inom nanoteknik. Men för att nå dit behövs produktions- affärs- och marknadsrelaterad kunskap. De större företagen har resurser och goda förutsättningar att i samspel med institut, högskolor och de mindre kunskapsintensiva nanoteknikföretagen utveckla detta. Generellt anser dock akademin att de stora företagen för tillfället är mer intresserade av att utveckla teknologin, medan de små är de mer produktorienterade, vilket kan leda till konkurrerande intressen. På lång sikt borde det ligga i de större företagens intresse att de mindre företagens produktionsmöjligheter utvecklas givet deras roll som potentiella underleverantörer. Även instituten borde få en mer framträdande roll, speciellt för att öka de mindre företagens möjligheter att utveckla produktionsrelaterad kunskap.

3.3.3 Samverkan för kommersialisering

I det svenska innovationssystemet läggs idag ofta samverkansansvaret på akademin, givet den tredje uppgiften som beskrevs tidigare. Frågan är om detta är optimalt. Många forskare upplever en press i samband med den tredje uppgiften och lärarundantaget då det ligger på deras ansvar att forskningen skapar innovationer, antingen genom att sprida kunskapen till det befintliga näringslivet eller genom att starta nya bolag. Att kombinera denna uppgift med forskning ses av många som svårt. Ett tecken är att relativt få svenska uppfinnare till patent är kopplade till högskolorna genom publikationer[113]. Akademin upplever dessutom att företag sällan kommunicerar sina problem utåt, vilket gör det svårt att identifiera behov och öppningar för samarbeten.

Instituten har generellt nämnts som en viktig spelare i spridningen av kunskap i systemet och som länk mellan det befintliga näringslivet och akademi. Samarbetet och kunskapsöverföringen mellan universiteten och instituten, och instituten och företagen har av naturliga skäl uppfattats som enklare än vid direkt samarbete mellan universiteten och industrin. Instituten har också haft viss typ av aktiviteter, framför allt för att sprida teknisk och produktionsrelaterad kunskap i systemet. Dock har deras roll uppfattats som svag inom nanoteknik och det har konstaterats att för att instituten skulle kunna vara en stark kunskapsspridande aktör krävs ökade resurser för kompetensutveckling och aktivitet. Samtidigt finns det en motsättning i systemet då instituten och universitetens aktiviteter ibland

[112] Cientifica (2006)
[113] Meyer (2005b)

likställs och de båda aktörerna tvingas konkurrera om medel, vilket leder till att samarbetet hämmas.

I kapitel 2.2.1 konstaterades det att över tre fjärdedelar av rena svenska nanoteknikföretag baseras på högskoleforskning. För dessa har kopplingen till högskolorna varit naturlig. Dock har de inte kunnat uppvisa någon större tillväxt. Om detta beror på en svaghet i den produktions-, marknads- och affärsrelaterade kunskapen, eller på en omogen marknad och tidig utvecklingsfas i tekniken, är svårt att säga. Men många innovationer från akademin sätts i företag för tidigt, innan man nått en mogenhet i idén och tillräckligt med produktionskunskap[114]. Denna stress att få ut innovationer som nämndes tidigare har i flera fall lett till ett affärsmässigt misslyckande. Dock konstateras det att det finns en bas för fler nya företag, men att man då måste säkra resurser för att bygga upp tillräcklig kunskap innan man bolagiserar. Samtidigt framförs det att forskare inte alltid vill följa med i hela kommersialiseringsprocessen, vilket kanske inte heller är det optimala. Ett överlämnande av idéer från forskarnas sida sätter ytterligare fokus på spridning av kunskap i systemet. Forskare vill ofta skapa idéer men kanske inte alltid operationalisera dem. Att då hitta en lämplig entreprenör som kan ta över och se till att kunskap överförs tar tid och är komplicerat.

De centrumbildningar kring nanoteknik som hittas i bilaga C utgör i vissa fall plattformar för kommersialisering. Exempelvis anses de så kallade VINN Excellence Centrerna generellt ha ökat samverkan med kommersiella drivkrafter givet att högskolan i många fall samarbetar med näringslivet och instituten[115]. Om så blir fallet med de nanotekniska centrumen är svårt att svara på.

3.4 Marknaden

Det finns olika bilder av nanoteknikens marknadspotential år 2010 väntas marknaden överskrida biljonsträcket i dollar. Även om detta inte inträffar finns en stor marknadspotential för nanoteknik med ett stort antal marknader. Två faktorer som formar marknaderna och gör att potentialen realiseras är att man lyckas ta fram reella applikationer på de möjligheter som nanotekniken presenterar, och att eventuella miljö- och hälsorisker förknippade med nanoteknik hanteras.

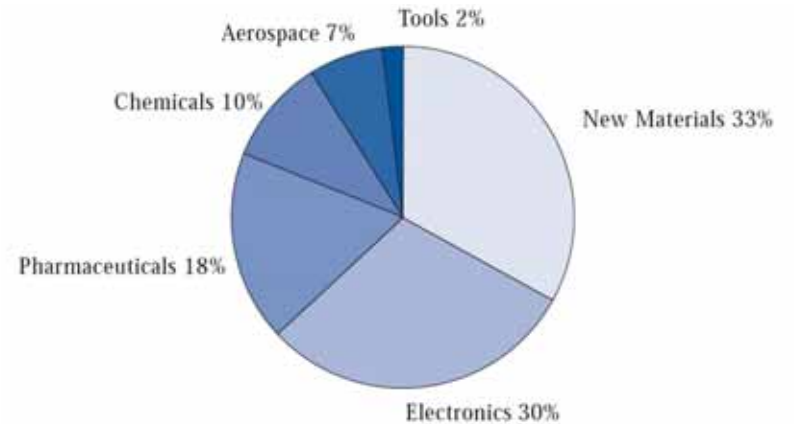
3.4.1 Marknaderna och deras utveckling

Antalet marknader för nanoteknik är nästintill oändliga. I figur 1 gjordes ett försök att presentera ett antal marknader. Där konstaterades att nanoteknik

[114] VINNOVA (2004)
[115] VINNOVA (2005)

tros öppna upp för otaliga nya applikationer inom en stor mängd olika marknader. Storleken av nanoteknikens del i dessa marknader väntas utgöra en väsentlig del av världsekonomin. Idag antas 0,1 % av värdet på produkterna på världsmarknaden komma från produkter innehållandes nanoteknikapplikationer. År 2014 väntas andelen ligga på 15 %, nära storleken av IT och Telekommarknaden och 10 gånger mer än bioteknikmarknaden[116]. Figur 10 visar fördelningen över ett antal marknader år 2015[117].

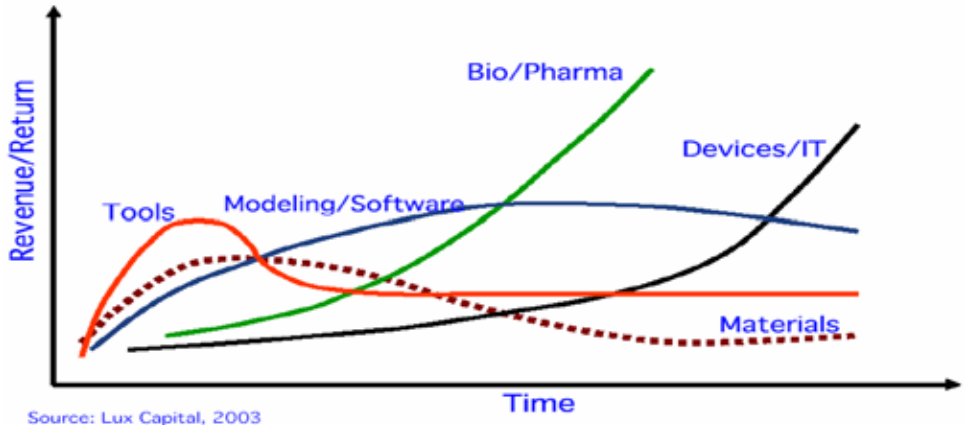
Figur 10 Förväntad fördelning av försäljningen av produkter som innehåller nanoteknik år 2015, från OECD (2005)



Tillväxttakten för marknaderna varierar. Bilden nedan visar att sektorn för Instrument och utrustning (*Tools*) väntas växa mycket till en början. Detta stämmer också väl in på den dominans av nanoteknikföretag inom området som framkom i kapitel 2.2.1. Denna typ av produkter, som delvis syftar till att utveckla andra områden inom nanoteknik, är nödvändiga i en inledande fas för att kunna utveckla och producera slutkundsnära produkter. Först då dessa är mogna och andra områden inom nanoteknik har en infrastruktur i form av mät-, produktions- och stödutrustning för paketering etc., är sannolikheten stor att övriga marknader tar fart.

[116] Allianz och OECD (2005)
[117] Allianz och OECD (2005), data kommer från US National Science Foundation 2003.

Figur 11 Tillväxten av ett antal marknader relaterade till nanoteknik



Vissa bedömare tror att elektronikmarknaden kommer att få fart innan 2010 och att life science applikationer med nanoteknik kommer nå större marknader först efter det, eftersom det tar längre tid att verifiera resultat för läkemedelsprodukter[118]. I ovanstående bild tar dock marknaden för bioteknik och farmaceutiska applikationer fart före IT-marknaden. Den bild de svenska aktörerna ger är generellt att bioteknikapplikationerna ligger längre fram i tiden. Oavsett utvecklingen (vilken kan relateras till olika studiers avgränsningar) kan man konstatera att både elektronik- och bioteknikområdet väntas bli stort.

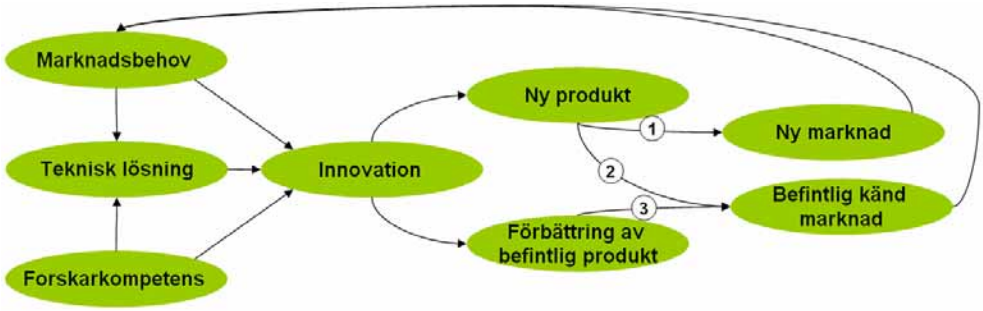
Att materialområdet enligt figur 11 minskar i betydelse vad gäller ekonomisk output kan kopplas till att tillväxten grundad på nanoteknik inte väntas komma från företag som producerar nanomateria, utan från bolag som använder sig av dessa i befintliga marknader[119], som IT eller läkemedel.

3.4.2 Två sätt att nå marknaden

Två typer av företag kommersialiserar nanoteknik i Sverige, generellt på två olika sätt. Figur 12 ger en förenklad bild av hur innovationer skapas inom nanoteknik och vilka vägar som finns för att kommersialisera dessa.

[118] Allianz och OECD (2005)
[119] Cientifica (2006)

Figur 12 Förenklad modell över hur innovationer skapas inom nanoteknik



Ett sätt är när nya aktörer försöker bryta sig in på befintliga, men för dem nya marknader (1 i figur 12) inom områden med etablerade aktörer vilka ofta har ansenliga befintlig resurser[120]. Ofta har de rena nanoteknikföretagen tagit denna väg, eftersom det ofta rör sig om nya företag. Det har generellt visat sig svårt på grund av att marknaderna varit omogna för nanotekniska applikationer, eller på grund av att de stora etablerade aktörerna löst problem snabbare med konventionell teknik än de små aktörerna hunnit få fram bättre lösningar med hjälp av nanoteknik. Innovationer som har tagit denna väg har hittills ofta byggts på forskarkompetens som genom en push-effekt sökt efter ett marknadsbehov. Dessa innovationer har ibland varit för tidigt ute och aktörer har haft problem med att hitta en potentiell marknad och lyckats väcka den. Marknader har ofta uppfattats som omogna, samtidigt som nanoteknik inte skapat bättre lösningar än de som funnits inom etablerad industri. Det finns dock lyckade exempel på denna väg, men innovationsprocessen har tagit lång tid.

Ett annat sätt att nå marknaden är genom lanserandet av nya produkter, eller förbättringar av befintliga, på en marknad som näringslivsaktören känner(2 och 3 i figur 12). Dessa, ofta större etablerade, företag lanserar en ny produkt på en för företaget känd marknad eller förbättrar befintliga produkter med hjälp av nanoteknik. Många tror att det är på detta sett som de stora marknaderna och tillväxten kommer nås. De större aktörerna kommer att kunna presentera den infrastruktur och marknadskunskap som behövs för att innovationerna skall skapa verklig tillväxt[121]. Nanoteknik blir i många fall endast en ingrediens i produkter som lanseras och det som kommer att driva och forma marknaden kommer att vara specifika faktorer knutna till just den marknaden.

[120] Cientifica (2006)
[121] Cinetifica (2006)

3.4.3 Betydelsen av den svenska marknaden

Få aktörer i det svenska innovationssystemet för nanoteknik har svenska kunder som är kritiska för dem. För många är den svenska marknaden obetydlig och företaget binds till Sverige genom humankapitalet. Dock finns ett behov av svenska kunder som utvecklingspartners och referenskunder för att slå sig in på internationella marknader. Trots att svenska kunder ofta inte är finansiellt starka ses de som kompetenta, nationellt och internationellt. Svenska kunder öppnar vägar för mer kapitalstarka internationella kunder. Vikten av geografisk närhet har även nämnts som en faktor för att få ett lyckat samarbete. Dock är detta långt ifrån kritiskt för alla.

3.5 Legitimering

För att skapa innovationer som ger tillväxt måste legitimitet och acceptans finnas för tekniken i fråga. Samtidigt som det finns stor tro på nanotekniken finns också stora nyhetsinslag med tillhörande osäkerhet kring utvecklandet av tekniken, men även rörande frågor om effekter på miljö och hälsa. För att säkerställa utvecklandet av nanoteknikinnovationer behöver tekniken legitimitet.

Redan år 1959, i samband med att Richard Fredman presenterade sina visioner, nämndes otaliga möjligheter med att bygga strukturer atom för atom[122]. Dessa tankar fanns i en mindre, forskningsnära värld tills Eric Drexler med sitt *Foresight Institute* tillförde ett mer samhälleligt och ingenjörsmässigt perspektiv. Hans visioner förknippades med science fiction och lockade en bredare publik men möttes med oro av vissa. Då nanotekniken behövde bygga upp legitimitet för ökade forskningsanslag, sågs associationerna med science fiction som problematiska och hotfulla[123]. Denna splittring, mellan å ena sidan visionärerna, som långt ifrån alltid forskade, och å andra sidan traditionella forskare, är något som syns ännu idag i Sverige[124]. Trots att man under några år tog avstånd till Drexlers idéer, läses de idag av en bred massa och han har bidragit till att väcka tankar kring miljö- och etikaspekter relaterade till nanoteknik[125].

3.5.1 Miljö- och hälsoaspekter

Idag finns brister i kunskaperna kring miljö- och hälsorisker relaterade till nanotekniska innovationer,[126] vilket i längden kan skada legitimiteten för området. Aktörer, ofta kopplade till miljö- och hälsorelaterade

[122] Fogelberg (2002)
[123] Fogelberg (2002)
[124] Karhi (2006)
[125] Fogelberg (2002)
[126] IVA (2006)

organisationer, menar att fördelningen av anslagen mellan nanoteknikforskning och forskning om nanoteknikens risker måste ses över. Brister i det regulatoriska ramverket kring nanoteknik framhålls också. Debatten kring riskerna med nanoteknik var länge outvecklad i Sverige men har på senare tid börjat ta fart, särskilt i media. Forskare är sällan bekymrade eller känner sig mer hindrade av riskaspekterna kring nanoteknik än i annan typ av forskning. Nanoteknikforskarna varnar för att ett för stort fokus på nanoteknikens risker kan leda till teknikfientlighet. Det är svårt att föra en generell riskdiskussion givet diversiteten i nanoteknikinnovationer[127]. En nanopartikels egenskaper beror på mycket, inte bara storlek och material, utan även struktur och kombination med andra partiklar. Generella riskanalyser och regulatoriska ramverk bli svåra att ta fram utan en analys från fall till fall av nanotekniska applikationer behövs.

EU, OECD, FN och Greenpeace kan nämnas bland de aktörer som idag arbetar för att i en första fas kartlägga, och vidare reglera miljö- och hälsorisker med nanoteknik. Ett exempel är EU-projektet Nanologue som syftar till att kartlägga och ta tag i de riskaspekter som finns för att undvika en debatt byggd på myter[128]. Trots agerandet på ett internationellt plan menar vissa aktörer att ett nationellt agerande måste till.

I den globala debatten nämns ett antal potentiella risker för miljö och hälsa. De flesta är kopplade till toxikologiska och kemiska effekter som nanopartiklarna kan ha på människokroppen och på vår omgivning[129]. Skillnad görs då ofta på huruvida det rör sig om fria partiklar, som i puder, eller om strukturer bundna till en yta. Partiklar i nanometerstorlek kan ta sig in i biologiska system och nå kroppens organ genom andningsorgan och kanske till och med huden. Osäkerheter finns även kring nanoteknikprodukters livscykel och avfallshantering. Troligen kommer komplexiteten i materialen försvåra återvinningsprocesser[130]. Samtidigt öppnar nanotekniken för att skapa material som underlättar återvinningsprocesser.

3.5.2 Etiska och samhälleliga aspekter

De etiska och samhälleliga riskaspekterna på nanoteknik i debatten har ofta starka kopplingar till generell forskningsetik och sociala aspekter på teknisk utveckling. Man talar om att nanotekniken kommer leda till komplexa system som kommer ta kontrollen från användaren eftersom det kan bli svårare att bruka och reparera produkter eller att jakten på allt mer

[127] IVA (2006)
[128] Andersson (2005)
[129] Bland andra Türk et al (2005)
[130] Bland andra Türk et al (2005)

sofistikerade lösningar tar fokus och resurser från enklare och billigare alternativ. Integritetsaspekter diskuteras då miniatyriseringen kan leda till att övervakningsapplikationer blir effektivare. Nanotekniken möjliggör olika typer av diagnosmetoder för människors hälsotillstånd och skeptiker menar att detta kan inskränka på människors rätt att känna, eller inte känna till sitt hälsotillstånd. Det finns även etiska aspekter kring militära applikationer som kan utvecklas med hjälp av nanoteknik[131] och en ökad kunskapsklyfta mellan användare och utvecklare, samt mellan olika regioner[132]. Världen tudelas mellan de som får och inte får tillgång till tekniken och dess möjligheter i form av exempelvis ökad levnadsstandard och tillgång till medicinska applikationer.

Trots att dessa orosmoln är generella för teknikutveckling utgör de ett hot mot utvecklingen av nanoteknik. De kan påverka allmänhetens bild av nanoteknik och därmed användandet. Dock är det svårt att bedöma hur stort detta hot är mot den generella utvecklingen av nanoteknik.

3.5.3 Tekniska osäkerheter

För att innovationssystemet fullt ut skall lyckas ta vara på nanoteknikens möjligheter måste det finnas en tro på nanoteknikens förmåga att lösa problem. Forskarvärlden upplever tron som relativt svag hos den etablerade industrin, men man noterar en attitydförändring i och med att tekniker mognar och konkreta innovationer visar på verkliga möjligheter. Standards kan göra tekniken mer legitim genom att underlätta kommunikationen mellan aktörer internationellt som i det svenska innovationssystemet. Standards visar också på stabilitet och ett gemensamt språk underlättar utvecklingen av tekniken. År 2004[133] uttrycktes att standardisering inte behovde. Tekniken var i en för tidig fas och patenteringen, som ofta ligger till grund för standardisering, låg i skuggan av publiceringen. En liten mängd patent underlättar dock standardiseringsprocessen och en tidig standardiseringsaktivitet kan underlätta framtida arbete. Samtidigt är mognadsgraden olika för olika områden inom nanoteknik, varför standardiseringsarbete bör behandla område för område eftersom standardiseringsprocessen är resurskrävande och medför vissa immaterialrättsliga komplikationer. Initiativ för standardisering av nanoteknik finns idag på nationell och internationell nivå[134].

---

[131] Bland andra Türk et al (2005)
[132] Westman (2005)
[133] Nanoforum (2004b)
[134] Se kapitel 2.3.1.

3.5.4 Visionärer och realister

Det finns splittrade åsikter kring vad som är realistiska förväntningar av nanoteknikens framtida genomslag[135]. Visionära mål med så kallad ”extremforskning” som närmast har som mål att ”frälsa världen” möts av viss skepticism hos forskare som sysslar med så kallad ”maintreamforskning” eller ”real nanotechnology”. Vad gäller ”extremforskning” täcker det ett vitt spektra med olika grader av realism, och visionerna handlar inte bara om att skapa nanorobotar och supermän.

Trots att svenska forskare håller sig till så kallad ”maintreamforskning”, sprids bilderna av ”extremforskningen” genom media och andra kanaler i Sverige och påverkar inte bara allmänheten i stort utan även policyaktörer i det svenska innovationssystemet. Å ena sidan kan dessa storslagna beskrivningar av nanoteknikens potential och retoriken kring en ”tredje industriell revolution”[136] inte bara locka till sig resurser utan även väcka intressanta tankar. Nästa generations nanoteknikforskare, som inte är formade av konventionella tankesätt, manas att tänka stort och kreativt. Attitydförändringar och förmågan att sätta okonventionella mål kan då leda till att forskare ger sig ut på nya områden med långt djärvare målsättning än dagens forskare[137]. Å andra sidan kan allt för visionära tankar kring nanoteknik väcka rädslan inför förändring och osäkerhet, och leda till teknikfientlighet. Samtidigt kan de uppfattas som allt för orealistiska och på så sätt skada legitimiteten för området.

Problematiken kring positiva och negativa uppseendeväckande framtidsscenarier är inte specifik för nanoteknikområdet utan möter ofta teknikområden i en tidig fas[138]. Dock upplevs problematiken vara särskilt stor kring nanotekniken[139]. Överdrivna skräckscenarier som sprids överskuggar den nödvändiga debatten om nanoteknikens verkliga risker. Utan legitimitet för tekniken hos allmänheten kan inte nanotekniken skapa långsiktig ekonomisk tillväxt. Detta kräver en gedigen riskdebatt parallellt med utvecklingen av tekniken.

3.6 Resurserna

För att skapa innovationer och tillväxt behövs resurser i form av humankapital, finansiella resurser, och resurser kopplade till infrastruktur.

---

[135] Karhi (2006)
[136] Fogelberg (2002)
[137] Karhi (2006)
[138] Karhi (2006)
[139] IVA (2006)

3.6.1 Humankapital

Tillgång på forskarkompetens inom nanoteknik anses i stort vara tillfredsställande. Sverige har en viss dragningskraft vad gäller forskarkompetens från utlandet, men den är svår att bevara. En viss grad av otrygghet upplevs av forskarna i akademin på grund av det resurskrävande forskningsfinansieringssystemet och forskarnas internationellt sett relativt låga löner. Forskartillgången i dagsläget och nivån på forskar- och universitetsutbildning anses dock generellt vara stark, men med tyngd i det teoretiska. Forskarkompetens och universitetsprogram anses erbjudas i tillräcklig omfattning, men flera aktörer, speciellt små spin-off företag, har svårt att hitta personal med specialkompetens. Dessa små aktörer har ofta otillräckligt med resurser för att utbilda personal inom önskade områden.

Sverige har i europeisk kontext relativt få grundutbildningar relaterade till nanoteknik[140] Det har dock inte hittats någon jämförande data över antalet grundutbildade, eller antalet forskarutbildade individer inom nanoteknik. En stor del av de europeiska aktörerna inom nanoteknik tror att det kommer att finnas underskott av kvalificerad personal inom en 10 års period[141]. Ingenjörskunnande och praktiska färdigheter kommer att bli ett kritiskt behov. Viktigast anses dock interdisciplinära färdigheter vara. Nationella aktörer lyfter fram vikten av att personer kan kommunicera över disciplingränser. Det finns en brist på sådana personer, speciellt i tvärsnittet mot bioteknik, delvis på grund av bristen på rörelse av personer i systemet.

Givet den brist på affärsrelaterad och entreprenöriell kunskap som generellt finns hos forskarna i systemet är det särskilt viktigt att det finns ett flöde av personer mellan industrin och akademin. EU-kommissionen, bland andra, efterlyser nanoteknikforskare och ingenjörer med entreprenörstänkande[142]. Flödet av forskare mellan industrin och akademin inom naturvetenskapen är generellt lågt[143], vilket i många fall täcker in nanoteknikforskare. Vad gäller forskare inom teknik är detta generellt högre. Den specifika nivån för nanoteknik är dock okänd. Bland europeiska aktörer anses mobilitet vara en av de viktigaste policyfrågorna, följt av utbildningsfrågan. Det finns dock en baksida med mobiliteten, särskilt relaterat till mobiliteten av personer vid spin-offs. Detta sätt att kommersialisera forskarkompetens premieras allt mer och aktörer inifrån akademin uppfattar en viss dränering av humankapital då framstående forskare lämnar akademin för att starta företag. Viss kontakt med högskolan finns kvar men forskarna kommer

[140] Nanoforum (2004a)
[141] Nanoforum (2004b)
[142] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2004)
[143] Sandgren och Perez (2006)

sällan tillbaka till universitetet, vilket leder till att återkopplingen av forskarentreprenörens erfarenheter till högskolan uteblir.

Antalet industridoktorander med nanoteknikkoppling är idag okänt. Deras betydelse för kunskapsutvecklingen och spridningen i systemet är dock stor, speciellt för att öka mottagarkapaciteten[144] i industrin. En annan fråga med politisk förankring som lyfts fram är kvinnornas underutnyttjande potential[145]. Detta är en fråga som lyfts fram av europeiska aktörer inom nanoteknik[146].

3.6.2 Finansiella resurser

Finansiella resurser behövs i ett antal olika moment i skapandet av innovationer, så som i forskningen och utvecklingen samt i kommersialiseringsskedet.

Finansiella resurser för forskning och utveckling

De största forskningsfinansiärerna av nanoteknisk forskning och utveckling i det svenska innovationssystemet satsade totalt nästan 230 miljoner SEK år 2005 på nanoteknisk forskning, utveckling och demonstration[147]. Detta inkluderar dock inte fakultetsanslagen och uppdragsforskningen till akademin, näringslivet satsningar på forskning inom området internt och den grundfinansiering som når instituten, vilket inte varit möjligt att kartlägga inom ramen för denna studie. För att få en komplett bild behövs dock en djupare kartläggning av området.

Det kan dock noteras en ökning av finansieringen av nanoteknik bland forskningsfinansiärerna. För år 2007 väntas över 80 miljoner SEK satsas på forskningscentra inom nanoteknik, jämfört med 14 miljoner SEK för 2005.

Trots att i princip alla större nationella forskningsfinansiärerna satsat på nanoteknik saknas koordination och överblick av satsningarna. För större strategiska satsningar och fokus av forskningen på nyckelkompetenser är detta en förutsättning.

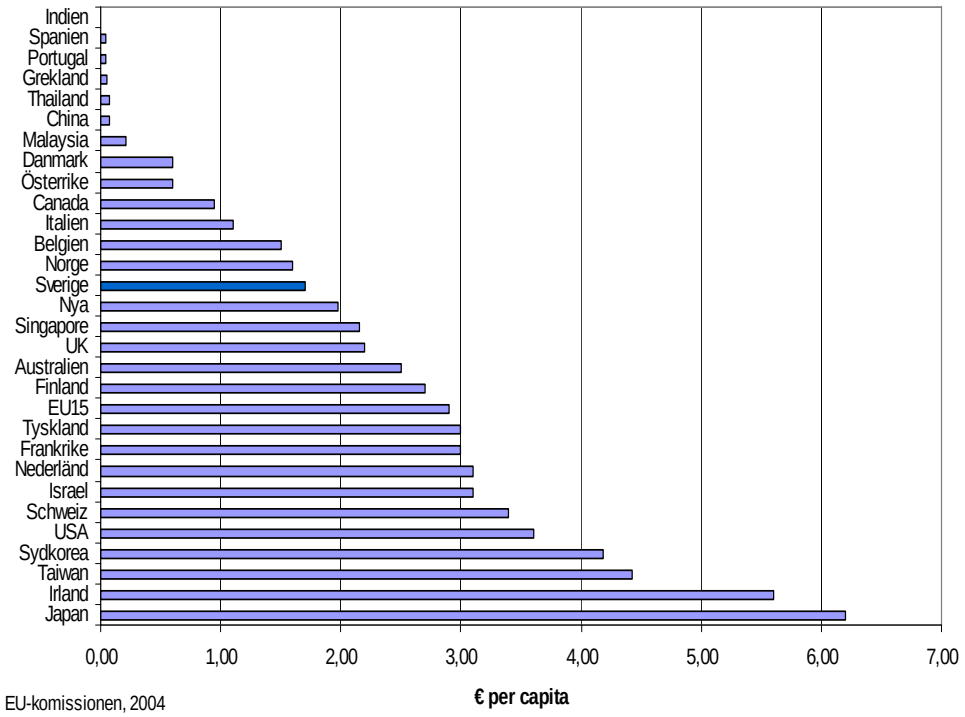
Sverige investerar mycket i FoU, strax under 4 procent av BNP. Endast Israel satsar mer. Trots stora resurser till vetenskapsområden nära nanovetenskapen skattas de offentliga FoU-satsningarna inom nanovetenskap till en relativt låg nivå för Sverige (figur 13). Detta trots att Sverige mellan åren 1997 och 2000 var det land som näst efter Italien ökade

---

[144] Förmågan att ta till sig kunskap utifrån
[145] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2004)
[146] Nanoforum (2004b)
[147] 14 M SEK för forskningscentra (bilaga C) och närmare 215 för andra typer av program (bilaga D)

sina statliga FoU-satsningar inom nanoteknik mest[148]. Offentliga satsningar, direkt hänförbara till nanovetenskap i Sverige, uppgick år 2003 till ca 15 miljoner €, eller ca € 1,7 per capita enligt EU[149]. Detta är en lägre nivå jämfört med Tyskland, Schweiz, Nederländerna och Finland. Nivån ligger enligt EU-kommissionen under genomsnittsnivån för EU15[150]. Enligt EU-kommissionen är nanovetenskap och -teknik inte ett område som prioriteras av de offentliga forskningsfinansiärerna i Sverige i lika hög grad som i andra länder.

Figur 13 Offentlig finansiering av nanoteknik per capita 2003



Inom EU:S sjätte ramprogram har 27 miljoner € av totala 566 miljoner € till nanoteknik tillfallit svenska aktörer[151], en vanlig prestation för Sverige. I det sjunde ramprogrammet är kring 3,5 miljarder € dedikerade till prioriteten *Nano-sciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies*. Detta inkluderar, som namnet antyder, även material och produktion. Nano kommer även in i andra prioriteter. Baserat på utfallet i sjätte ramprogrammet kan man räkna med kring 2,9 miljarder € till projekt med nanoteknikrelevans fördelat på sju år.

[148] OECD (2003)
[149] Europeiska Gemenskapernas Kommission (2004)
[150] Dock måste nämnas att det är oklart vilken EU-kommissionens källa är och detta är en låg siffra i jämförelse med de beräkningar som gjort inom ramen för denna studie.
[151] Se kapitel 7.1.1.

Både näringsliv och högskoleaktörer ser resurserna till forskning som otillräckliga. Högskolorna anser sig till exempel ha för lite resurser för att locka utländskt, och hålla kvar inhemskt, humankapital. Företagen anser att de inte har ekonomiska möjligheter att utveckla sin nyfikenhet för nanoteknik till verklig kunskap och artikulera behov. Även aktörer från instituten har nämnt brist på finansiella resurser för att utveckla kunskap om nanoteknik, vilket även lyfts fram av högskolorna.

Frågan kring resurstillgång är komplex. Kanske handlar problemet inte om avsaknad av finansiella resurser utan om ett resurskrävande finansieringssystemet med mycket administration i samband med ansökningar och splittrade resurser som är svåra att få överblick över. Det finns vidare en viss konflikt i att systemet måste kraftsamla, samverka och fokusera kring nanoteknik samtidig som många aktörer upplever det som om de sätts emot varandra genom konkurrensbaserade finansieringssystem. De mindre högskolorna, som kanske inte är experter på att skaffa sig anslag men som har innovativa idéer och skapar mångfald i systemet, hamnar i skymundan.

Europeiska näringslivsaktörer har framfört behov av att förskjuta fördelningen av anslagen från dagens tyngdpunkt på teoretisk forskning till mer teknisk och ingenjörsmässig utveckling[152]. Totalt sett ville dock aktörer 2004 se en ökning av anslagen till grundforskningen inom nanoteknik. Detta bör dock ses i ljuset av att majoriteten av deltagarna i studien var forskare inom akademin.

Finansiella resurser för kommersialisering

Nanotekniken kan främst kommersialiseras på två sätt, dels genom att tekniken utvecklas eller förs in i befintliga företag, eller att det bildas nya företag baserade på forskarkompetens. Vid nybildandet av kunskapsintensiva företag finns ett par aspekter att beakta. En stor press finns på att snabbt kommersialisera nanoteknisk forskarkompetens. Nanoteknik kräver generellt mycket tid och resurser för utveckling av produktionsmetoder, paketering, mätning, etc. Verifieringsfasen[153] blir då relativt lång. Tillgångligt riskkapital anses inte vara tillräckligt uthålligt för att tillföra resurser i fasen eftersom det generellt är en lång väg till exit härifrån. För högskoleavknoppningar genomförs ofta denna fas på högskolan och det är svårt att finansiera den typen av verksamhet där. Idéerna bolagiseras då innan de är mogna på grund av svårigheter i att locka kapital utan bolag.

[152] Nanoforum (2004b)
[153] Då man paketerar sin idé och genomför marknadsanalys och affärsplan.

Även den affärsmässiga utvecklingen är kritisk för nanotekniken. Försåddsfasen[154] blir då också viktig. Även här noteras brist på kapital. Genom insatser som Innovationsbron, Industrifonden och inkubatorer stöds denna kritiska fas. Men aktörer anser att det är otillräckligt och att det inte finns samma engagemang från dessa typer av aktörer som från exempelvis affärsänglar, av vilka det finns få i Sverige.

Även för bildade bolag noteras brist på riskkapital i såddfasen i Sverige[155]. Svenska aktörer är mindre riskbenägna än sina utländska kolleger och statliga nanoteknikinvesteringarna på internationell nivå matchats inte av det privata riskkapitalet[156]. Endast 1,5 promille av det amerikanska riskkapitalet gick till nanoteknik 2005. Det amerikanska kapitalet är dessutom uppbundet i illikvida bolag där exit anses ligga långt fram i tiden. Många investerare hade bråttom under upprinnelsen till nano-hypen och med rädsla för att missa tåget satsades pengar i bolag trots otillräcklig kunskap. Investeringar har låsts i dessa bolag då vägen till exit varit lång. Få investeringar har lyckats och riskkapitalisterna ser sig om efter möjligheter att sälja vidare tekniker. Ofta finns ett problem i missbedömningar från riskkapitalister som har kunskap om tekniken men saknar kunskap om den marknad man ger sig in i. Problematiken känns igen från tidigare diskussioner kring svårigheter att koppla nanoteknikkunnande med marknadskunskap.

Förhållandet mellan den europeiska riskkapitalmarknaden och den amerikanska är 1:6 för nanoteknik och 1:5 generellt[157]. De europeiska aktörerna är mindre riskbenägna och nanoteknik anses fortfarande vara riskfyllt. Det svenska riskkapitalets satsningar på nanoteknik har inte varit möjliga att kartlägga, men det finns viss aktivitet. Exempelvis har riskkapitalbolaget Creandum företaget Nanoxis i sin portfölj och FöretagsByggarna har investerat i Replisaurus AB. Även Teknoinvest och Provider Venture Partners har investerat i nanoteknikbolag, nämligen i QuNano. SEB Företagsinvest har det danska bolaget Capres A/S i sin portfölj, och Innovationskapital har investerat i Åmic och Syntune. Vidare finns aktivitet bland högskolornas egna riskkapitalbolag, som exempelvis KTH Seed Capital och LUAB (Lunds universitets utvecklings aktiebolag).

[154] Då man understödjer, kontrollerar och skyddar sin idé till exempel genom nyhetsgranskning, prototypframtagning och patentansökan.
[155] VINNOVA (2005)
[156] Cientifica (2006)
[157] Cientifica (2006)

3.6.3 Mobilisering av resurser kopplade till infrastruktur

Det finns tillräcklig mängd infrastruktur i Sverige för nanoteknikområdet. Större satsningar har gjorts den senaste tiden, bland annat från Knut och Alice Wallenbergs stiftelse. År 2002 utvärderades de tre laboratorierna; Elektrum i Kista vid KTH, Ångströmslaboratoriet i Uppsala och Mc2 på CTH[158]. Det konstaterades då att dessa hade utmärkta förutsättningar i form av renrum, utrustning och personal, för utvecklandet av nanoteknik. Kostnaden för etableringen av dessa laboratorier matchade hög internationell klass. Dock är uppkomsten av dessa laboratorier inte resultatet av en samlad nationell planering utan har uppkommit ur en splittrad struktur av finansieringskällor. Splittrade strukturer och överkapacitet ger upphov till höga kostnader för användandet. Ett nätverk för att samordna resurserna finns men en fortsatt ökad optimering av användningen är önskvärd för att få ner kostnaderna.

För många av de relativt nystartade nanoföretagen är verifiering och reproducerbarhet två viktiga aspekter för att komma framåt i kommersialisering. Dessa kräver kostsam utrustning som ofta finns i de tre renrummen. I verifieringsfasen är priset för användning hanterbart, medan steget upp till produktion är stort, både vad gäller kostnad och att hitta lämpliga leverantörer. För att dessa små företag skall lyckas med sin kommersialisering behöver denna infrastruktur finnas tillgänglig till ett överkomligt pris, vilket inte alltid är fallet. Det finns även svårigheter i att hitta lämpliga leverantörer och möjliggöra produktion i Sverige. Detta är viktigt eftersom den geografiska närheten spelar viss roll. Även MAX-laboratoriet har problem med driftkostnader och det har noterats att driftsbidraget måste mer än fördubblas för att laboratoriet ska kunna upprätthålla sin nuvarande ställning. [159]

3.7 Outputen

I föregående kapitel har innovationssystemets förutsättningar att skapa innovationer beskrivits ur ett antal aspekter. Men hur innovativt är då systemet, hur många innovationer skapas?

Information om innovationer i form av produktlanseringar eller nya processer saknas för alla typer av företag, inte bara för nanoteknikföretag. Innovationer brukar därför indikeras av företags patentering.[160] En ökning i

[158] Vetenskapsrådet (2002)
[159] Vetenskapsrådet (2004)
[160] EU:kommissionen bedriver sedan 1996 ett omfattande arbete med att mäta innovationsaktiviteter under namnet Community Innovation Survey (CIS). Sverige deltar i detta arbete genom SCB.

nanoteknikrelaterade patent från Sverige konstateras. I internationella mått mätt är svensk patenteringsverksamhet medelmåttig, något över medeltalet, både i absoluta tal och förhållande till landets storlek[161]. Det har inom ramen för denna analys inte varit möjligt att djupare analysera och följa upp dessa patent och se om de blivit innovationer. Det har heller inte varit möjligt att granska patent som godkänts efter 2001. För att verkligen försöka identifiera antalet innovationer och det ekonomiska värdet i patent är detta nödvändigt.

En annan indikator på systemets output är antalet näringslivsaktörer, eftersom det är de som slutligen kommersialiserar innovationerna. Troligen ökar möjligheten att skapa innovationer med antalet företag, trots att ett fåtal företag egentligen skulle kunna skapa många innovationer, och vice versa. Det har noterats en tillväxt av antalet aktörer och deras aktivitet har ökat i jämförelser mellan kartläggningen i denna studie och tidigare studier. Det är både bland de små nanoteknikföretagen och bland de stora aktörerna som en ökning noterats.

Sverige har dock visat sig vara något sämre på att skapa näringslivsaktörer än på att forska och patentera. I två internationella undersökningar har Sverige hamnat på 15:e plats med avseende på antalet näringslivsaktörer inom nanoteknik[162]. Dock har inte antalet aktörer motsvarat det totala på 85 stycken företag som identifierats i denna studie.

Det kan konstateras att näringslivsaktörer har utvecklat ett antal produkter, trots att ingen gedigen inventering av antalet produkter gjorts. Det finns heller ingen samlad internationell jämförelse som skulle kunna sätta det svenska antalet innovationer i ett perspektiv. Det behövs ytterligare analyser för en bedömning av systemets totala output.

[161] Meyer (2005a)
[162] Nanovip.Com (2006), Allianz och OECD (2005)

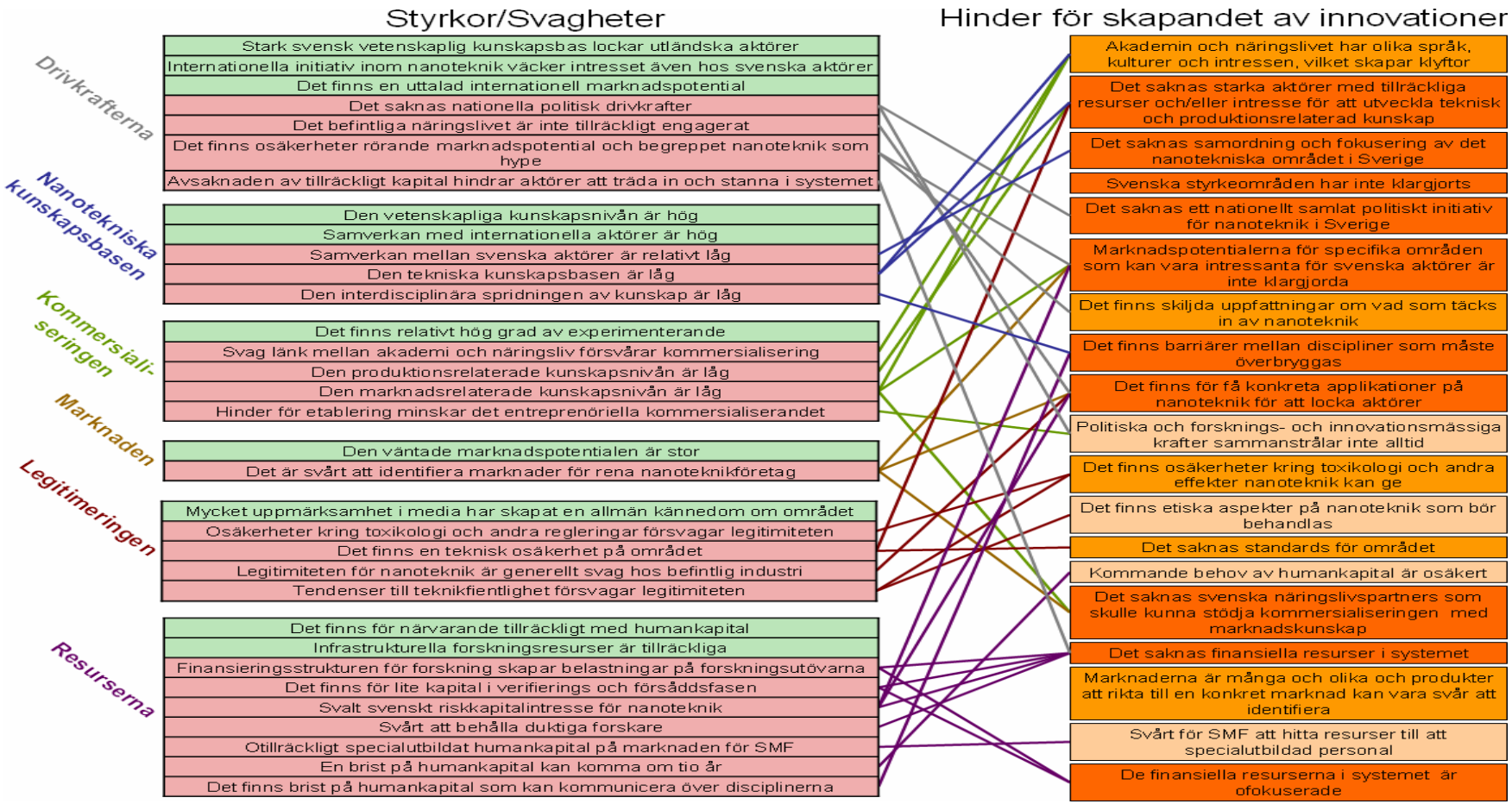
4 Slutsatser och åtgärder

Det svenska nanotekniska innovationssystemet håller på att ta form. Aktörer börjar samlas kring området och innovationer baserade på nanoteknik börjar nå marknader. Det finns möjligheter för svenska aktörer att spela en stark roll i utvecklingen av nanotekniska innovationer, men det finns hinder på vägen dit.

Följande kapitel inleds med en sammanfattning av de svagheter som identifierats i systemet och utifrån dem härleds hinder för att skapa innovationer. Med utgångspunkt i dessa identifieras sedan åtgärdsförslag som kan reducera hindren i systemet. Kapitlet avslutas med en slutdiskussion.

4.1 Hinder för skapandet av nanoteknikinnovationer

Utifrån de aspekter kring drivkrafterna, den nanotekniska kunskapsbasen, kommersialiseringen, marknaden, legitimeringen och resurserna som diskuterades i kapitel 3 kan hinder för skapandet av nanoteknikinnovationer identifieras. I följande bild sammanfattas styrkorna och svagheterna som identifierats. Ett antal hinder ger upphov till dessa svagheter. Förhållandet mellan dessa representeras av pilarna i figuren. Hindren har sedan kategoriserats efter hur kritiska de anses vara för systemet, grundat på hur stora och många svagheter i innovationssystemet de gett upphov till, samt hur specifikt hindret varit för just nanoteknikens innovationssystem. I kapitel 2.1. nämndes även att vissa aspekter är viktigare givet systemets fas. De mest kritiska hindren har markerats med mörkare färg och de mindre kritiska med ljusare färg.



Figur 14 Styrkor och svagheter i systemet och de hinder som är kopplade till svagheterna.

Svagheter relaterade till drivkrafter för nanoteknik beror på avsaknaden av nationella politiska intressen, osäkerheter i marknaden och nanoteknik som teknik, dämpat intresse från industrin och otillräckligt kapital. Hindren som ger upphov till detta bottnar till stor del i att man inte kunnat visa på nanoteknikens möjligheter. Marknadspotentialerna för specifika områden som kan vara intressanta för svenska aktörer är inte klargjorda och för få konkreta applikationer på nanoteknik har utvecklats i Sverige. Svenska aktörer har heller inte en enad bild kring var som inkluderas i nanoteknik och ett nationellt initiativ likt USA:s *Nanotechnology Initiative* saknas.

Den nanovetenskapliga kunskapsbasen är stark medan den tekniska är svagare. Samverkan mellan olika grupper av forskningsaktörer inom nanoteknik är låg och den interdisciplinära spridningen av kunskap är låg. En svag länk mellan akademin och näringslivet, på grund av skillnader i kultur och intressen, och avsaknaden av starka aktörer med tillräckliga resurser och intresse för att utveckla teknisk kunskap hindrar utvecklingen av den tekniska kunskapsbasen. Avsaknaden av samordning mellan de svenska aktörerna skapar hinder för samarbeten mellan forsknings-grupperna. Barriärer med avseende på språk och sätt att arbeta mellan discipliner hindrar den interdisciplinära spridningen av kunskap.

Skillnaderna i kultur och intressen mellan akademin och näringslivet hindrar inte bara utvecklingen av teknisk kunskap utan försvårar också kommersialiseringen. Detta, tillsammans med avsaknaden av starka aktörer med tillräckliga resurser och intresse, hindrar utvecklandet av produktionsrelaterad kunskap. Skillnaderna mellan akademin och näringslivet hindrar även utvecklandet av affärs- och marknadsrelaterad kunskap. Att marknadspotentialerna för specifika områden av intresse för svenska aktörer inte är klargjorda hindrar också det utvecklandet av marknadskunskapen, liksom avsaknaden av svenska näringslivspartners som skulle kunna stödja kommersialiseringen.

Det har visat sig svårt att identifiera lämpliga marknader för rena nanoteknikföretag. Detta främst på grund av att det saknas svenska näringslivspartners som skulle kunna stödja kommersialiseringen med marknadskunskap och att det finns för få konkreta applikationer på nanoteknik. Att marknadspotentialerna för specifika områden av intresse för svenska aktörer inte är klargjorda spelar också roll.

Osäkerheter kring toxikologi och andra regleringar försvagar nanoteknikens legitimitet. Det finns även osäkerheter kring tekniska aspekter som delvis beror på systemets tidiga fas och bristen på standards, men även på avsaknaden av starka aktörer med tillräckliga resurser och intresse för att utveckla och skapa stabilitet kring den tekniska kunskapen. För få konkreta applikationer har resulterat i att legitimiteten för nanoteknik generellt är

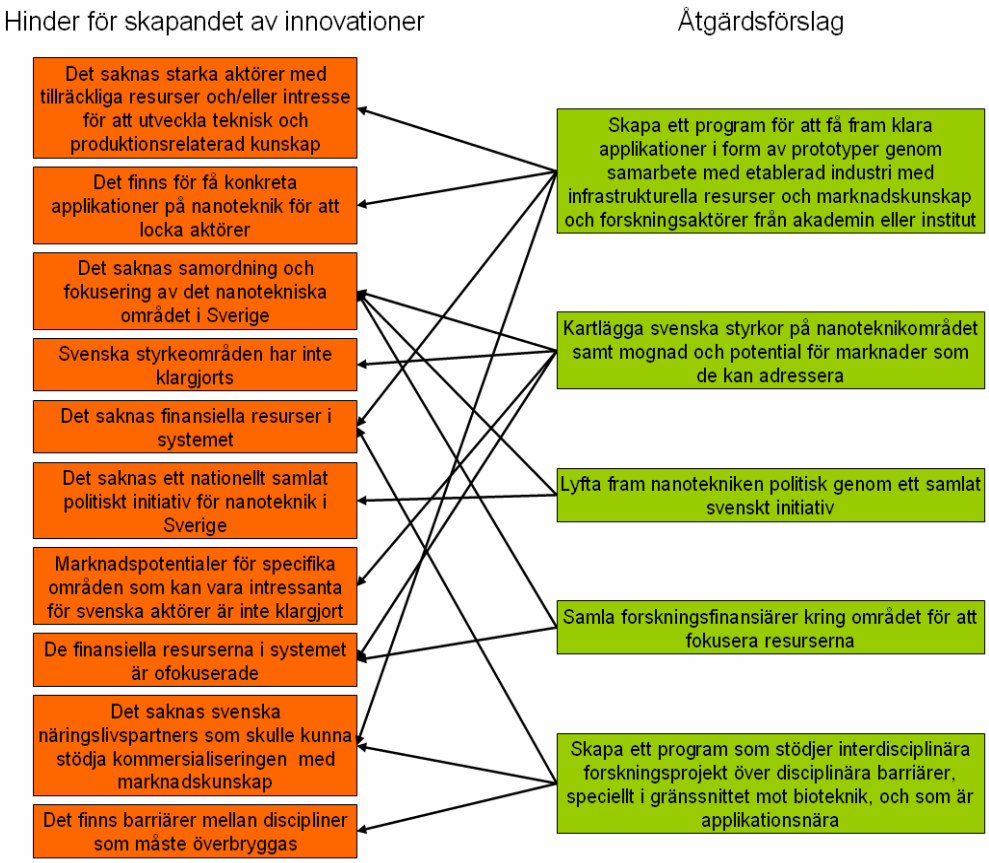
svag hos befintlig industri. Osäkerheter kring etiska aspekter och effekter av nanoteknik har skapat vissa tendenser till teknikfientlighet för nanoteknik.

Det saknas finansiella resurser i systemet. Bland annat finns det för lite kapital i verifierings och försåddsfasen, och ett generellt svalt riskkapitalintresse. Detta beror på att marknadspotentialerna för specifika områden av intresse för svenska aktörer inte är klargjorda, samt att det finns för få konkreta applikationer på nanoteknik. Avsaknad av finansiella resurser till forskning, kombinerat med ofokuserade resurser i systemet skapar belastningar på forskningsutövarna och gör det svårt att behålla forskare med spetskunskap i landet.

4.2 Åtgärdsförslag

Av de hinder för skapandet av innovationer som identifierats är tio särskilt kritiska för nanotekniska innovationer. Utifrån dessa tio presenteras fem åtgärdsförslag som kan reducera dessa hinder. Dessa presenteras i figur 15.

Figur 15 Åtgärdsförslag och hur de adresserar de mest kritiska hindren



Förslagen på åtgärder är ytterst summariska och visar på hur vissa hinder för skapandet av innovationer inom nanoteknik skulle kunna undanröjas.

Ett program för klara nanoteknikapplikationer

Genom att skapa ett forsknings- och utvecklingsprogram där etablerad industri, som har infrastrukturella resurser och marknadskunskap, tillsammans med forskningsaktörer från högskola och institut tar fram klara applikationer kan man visa på de möjligheter som nanotekniken presenterar. På så sätt ökar legitimiteten för tekniken och fler aktörer lockas och kan tillföra kunskap i systemet. Konkreta applikationer kan intressera befintliga starka aktörer med resurser att utveckla teknisk och produktionsrelaterad kunskap, liksom näringslivspartners som kan stödja kommersialiseringen med marknadskunskap.

Kartlägga svenska styrkeområden och potentiella marknader

Genom att genomföra en gedigen kartläggning av svenska styrkor inom nanoteknikområdet kan man få en bild av de svenska förutsättningarna. En kartläggning av marknader med avseende på mognad och tillväxtpotential ger sedan en bild av möjligheterna för nanoteknik. Genom att matcha svenska styrkeområden med marknadspotentialer identifieras de områden där Sverige har goda möjligheter att skapa tillväxt genom nanoteknikinnovationer. Dessa blir prioriterade områden kring vilka Sverige kan kraftsamla och ger möjlighet till samordning och fokusering av de svenska resurserna.

Ett samlat svenskt initiativ för nanoteknisk utveckling[163]

Genom att nationella aktörer tar ett samlat svenskt initiativ kan nanotekniken lyftas fram politiskt och samordnas. Det är viktigt att få med alla aktörer i detta arbete och att det finns ett politiskt engagemang, detta för att få förankring ända upp på departementsnivå. Detta kommer att öka legitimiteten för området och skapa drivkrafter som ökar innovationssystemets aktivitet och således förmågan att skapa nanotekniska innovationer.

Samla forskningsfinansiärerna kring nanoteknik

Nanoteknikens generiska karaktär har gjort att insatserna inom området är splittrade. Genom att samla forskningsfinansiärerna kring nanoteknik kan man fokusera de finansiella resurserna i systemet och samordna kring nanoteknik, vilket kan skapa hävstångseffekter. Det kommer även att minska belastningen på forsknings- och utvecklingsutövarna som uppkommit på grund av den splittrade finansieringsstrukturen. Genom att fokusera resurserna på prioriterade områden kan man bygga upp svenska styrkeområden inom nanoteknik som kan stå sig i internationell konkurrens.

[163] Ett första steg har tagits genom IVA:s arbete med en svensk nanoteknikstrategi

Interdisciplinärt applikationsdrivet forsknings- och utvecklingsprogram

Nanoteknikens tvärvetenskapliga karaktär kräver samarbete över discipliner, något som kan vara svårt. Det finns barriärer mellan olika vetenskapliga och tekniska discipliner som är svåra att överbrygga. Det fattas också personer med kapacitet att verka över dessa barriärer. Genom att skapa ett program som stödjer interdisciplinära forskningsprojekt över barriärer, speciellt i gränssnittet mot bioteknik, som visat sig särskilt svårt, kan dessa hinder överbryggas. Det har även visat sig vara viktigt att tidigt arbeta applikationsnära, varför forskningen bör vara applikationsdriven.

4.3 Slutdiskussion

Det finns stora internationella förväntningar på att nanovetenskapen och nanotekniken skall skapa nya applikationer och innovationer och där igenom stor tillväxt. Området attraherar allt större privata och offentliga investeringar i många delar av världen, men Sverige har agerat mindre kraftfullt gällande framtagandet av nanotekniska innovationer och det politiska intresset för området har varit relativt svalt.

Nanoteknikens generiska karaktär gör det svårt att tala om nanoteknik i ett generellt perspektiv vad gäller forskning, näringsliv och marknader. Därför bör nanoteknik betraktas utifrån ett antal forskningsområden, näringslivssektorer eller marknader. I detta kan troligtvis en av förklaringarna till avsaknaden av fokus kring svensk nanoteknik ligga. För trots att inga övergripande nanotekniksatsningar har gjorts så finns nanotekniken väl spridd inom olika forskningsområden.

Svensk nanovetenskaplig och nanoteknisk forskning håller hög internationell nivå inom ett antal områden, ett resultat av de satsningar, om än splittrade, som görs och gjort inom områden relevanta för nanoteknikens utveckling. Vad gäller den mer tekniskt inriktade verksamheten har Sverige inte visat sig lika starkt. Det finns ett växande näringsliv inom nanoteknik i Sverige, men det finns klara förbättringspotentialer. Det svenska innovationssystemet kring nanotekniska applikationer är i sin uppbyggnadsfas. Allt fler aktörer ansluter sig och intresset hos det etablerade näringslivet ökar, vilket är nödvändigt för att fler nanotekniska innovationer skall skapas. Det etablerade näringslivets deltagande i utvecklandet av nanotekniska innovationer är kritiskt, givet att de sitter med produktions-, marknads- och affärsrelaterade kunskap.

Sverige har goda förutsättningar till att bli ledande inom nanotekniska områden, men för att möta den internationella konkurrensen måste Sverige kraftsamla och prioritera kring området.

5 Referenser

Rapporter, artiklar och OH-material

Ahlgren, M, (2005) *Informations- och kommunikationsteknik i USA En översiktsstudie om satsningar och trender inom politik, forskning och näringsliv*. Studie. VINNOVA, Stockholm.

Ahlgren, M. (2004), *Informations- och Kommunikationsteknik i USA*. Rapport VINNOVA Policy VR 2005:03. Institutet för tillväxtpolitiska studier: Swedish Office of Science & Technology, Los Angeles.

Ahlgren, M., Jonsson Franchi, H. (2005), *Policy for New Industrial Revolution- a Study of nanotechnology in the USA*. Rapport. ITPS, Swedish institute for growth policy studies, Öresund.

Allianz och OECD International Futures Programme (2005), *Opportunities and risks of Nanotechnologies*. Rapport. Allianz och OECD.

Andersen, P.D. et al, (2005), "Technology foresight on Danish nano-science and nanotechnology". *Foresight*, vol. 7 nummer 6. Emerald Group Publishing Limited, Danmark.

Andersson, S. (2005) "EU forskar om risker med nanotekniken", 05-03-16, *Ny teknik*, www.nyteknik.se.

Bergek, A. Jacobsson, S. Carlsson, B. Lindmark, S. Rickne, A. (2005) *ANALYZING THE DYNAMICS AND FUNCTIONALITY OF SECTORAL INNOVATION SYSTEMS – A MANUAL.* Artikel. DRUID Tenth Anniversary Summer Conference 2005, Köpenhamn.

Blind, K. Thumm, N. Iversen, E. Hossain, K. van Reekum, R. Rixius, B. Bierhals, R. Sillwood, J. (2004), *Interaction between Standardisation and Intellectual Property Rights*. Rapport. Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.

Carlsson, B. och Jacobsson, S. (2004), "Dynamics of innovation systems – Policy-making in a complex and non-deterministic world". Chalmers Tekniska Högskola: Institutionen för Industriell Dynamik, Göteborg.

Cientifica (2006), "VCs to Nanotech: Don't call Us!". Cientifica.

Danielsson, E. och Olander Eriksson, H. (2004), *En studie av unga svenska produktorienterade nanoteknologiföreta*. Rapport: examensarbete. Linköpings Tekniska Högskola, Lindköping.

EPSRC (2005), *EPSRC Nanotechnology Theme Day*. Referat. Engineer and Physical Science Research Council, London.

European NanoBusiness Association (2005), *The 2005 European NanoBusiness Survey*. Report. The European NanoBusiness Association, Belgien.

Europeiska Gemenskapernas Kommission (2004), *Mot en europeisk strategi för nanoteknik*. Rapport 338. Europeiska Gemenskapernas Kommission, Bryssel.

Europeiska Gemenskapernas Kommission (2005b), *EU nanotechnology research: Exploring the fundamentals*. Informationsmaterial, Europeiska Gemenskapernas Kommission, Bryssel.

Europeiska Gemenskapernas Kommission, (2005a), *Nanovetenskap och nanoteknik: En handligs plan för Europa 2005-2009*. Rapport 243. Europeiska Gemenskapernas Kommission, Bryssel.

Europeiska Gemenskapernas Kommission, (2005c), *European Technology Platform on NanoMedicine: Nanotechnology for Health*. Rapport. Europeiska Gemenskapernas Kommission, Luxemburg.

Fogelberg, H. (2002), *Framväxten av en ny kunskapsbaserad basteknologi (nanoteknik) och dess relevans för det transportteknologiska området*. VINNOVA Raport 2002:10. VINNOVA, Stockholm.

Gerber, L. (2006*), Develpoments in the OECD – Nanotechnology*. OH-material. Stockholm.

Gustafsson, J. (2006), ”Finansiell dödsdal hotar innovationen”, 2006-05-15, *Entré*, ESBRI, http://www.esbri.se/artiklar.asp.

Heinze, T. (2004) *Nanoscience and Nanotechnology in Europe: Analysis of Publications and Patent Applications including Comparisons with the United States.* Artikel, Nanotechnology Law & Business, Volume 1, Issue 4 2004 Article 10. USA.

Hekkert, M. et al, (2004), *Functions of innovation systems: A new approach for analysing socio-technical transformation*. Utrecht University, Utrecht.

IVA (2006), *Nanoteknikens möjligheter och risker: Dokumentation från seminarium på IVA den 19 juni 2006.* Referat, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm.

IVA (2006b) *En Nanostrategi för Sverige, ett förslag från Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien.* Rapport, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm.

Iversen, T. et al, (2005), ”Nanoforest”. Rapport. STFI-Packforsk, Stockholm.

Jacobsson, S. (2006), ”*Vad hindrar marknadsutvecklingen för ekologisk mjölk I Sverige – en pilotstudie av funktioner och blockeringsmekanismer I ett framväxande innovationssystem*”. Rapport. Chalmers tekniska högskola: Miljöanalys och RIDE, Göteborg.

Johannisson, B. Lindholm-Dahlstrand, Å. (2006) *Bridging the functional and territorial rationales - proposing a virtual integrating framework for regional dynamics.* Artikel. 14th Nordic Conference on Small Business Research 2006, Stockholm.

Karhi, A-S. (2006), *Den lilla tekniken i det stora skedet.* Lindköpings Universitet: Filosofiska Fakulteten, Lindköping.

Liander (2005), *Nanoteknologiföretag i Sverige.* OH-material. Stockholm.

Meyer, M. (2005a), *Nanotechnology in Sweden an Overview of Bibliometric and Patent Studies*. Rapport. Knowledge Flows, Helsingfors.

Meyer, M. (2005b), *Nanotechnology in Sweden Tracking patenting Activity & Links between Nanotech Firms and Swedish Science*. Rapport. Knowledge Flows, Helsingfors.

Meyer, M. Persson, O. Power, Y. (2001), Nanotechnology Expert Group and Eurotech Data: Mapping Excellence in Nanotechnologies Preparatory Study. Rapport. ERA.

Nanoforum (2004a), *Education Catalouge for Higher Education in Nanotechnology*. Rapport. Nanoforum.org.

Nanoforum (2004b), *Outcome of the Open Consultation on the European Strategy for NANOTECHNOLOGY.* Rapport. Nanoforum.org.

Nanoforum (2005), *Sixth Nanoforum Report: European Nanotechnology Infrastructure and Networks.* Rapport. Nanoforum.org.

Noyons, E.C.M. Buter, R.K. van Raan, A.F.J. Schmoch, U. Heinze, T. Hinze, S. Rangnow, R. (2003), *Mapping Excellence an Scince anf Technology across Europe: Nanoscience and Technology*. Leiden University, Nederländerna.

OECD (2003) *Science, Technology and Industry Scoreboard 2003.* Rapport. OECD, Paris.

OECD (2006), *OECD-CSTP SCOPING MEETING ON NANOTECHNOLOGIES - DRAFT AGENDA.* DSTI/STP/A(2006)2 OECD, Schweiz.

Ratnet, M. och Ratner, D. (2006), *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. New Jersey: Pearson Education, USA.

Regeringen (2005), *Forskning för ett bättre liv.* Regeringens proposition 2004/05:80. Utbildnings- och kulturdepartementet, Stockholm.

Roco, M.C. (2002), International Strategy for Nanotechnology Research and Development. Rapport. National Science Foundation, USA.

Roco, M.C. (2004), National Nanotechnology Initiative: Planning for the Next 5 years. OH-material. National Science Foundation, USA.

Sandgren, P. Perez, E. (2006) *Innovationsinriktad Samverkan - En rapport om kunskapsöverföring mellan näringsliv och akademi i Sverige.* Rapport. VINNOVA analys 2006:03, VINNOVA, Stockholm.

Söderkvist, J. och Vogel, O. (2004), Små funktionella komponenter baserade på Mikro- och Nanosystem. Förstudie. KK-stiftelsen, Sverige.

Teknisk Framsyn (2003), Material och materialflöden – utmaningar och möjligheter. Rapport. Teknisk Framsyn, Stockholm.

Teknisk Framsyn (2004), Andra nationella framsyner – en jämförelse och analys. Rapport. Teknisk Framsyn, Stockholm.

Teknisk Framsyn (2004), *Inspiration till innovation – Teknik och kunskapsområden mot 2020*. Rapport. Teknisk Framsyn, Stockholm.

Teknisk Framsyn (2004), *Vägval för Sverige – Syntesrapport från Teknisk Framsyn*. Rapport. Teknisk Framsyn, Stockholm.

The Royal Society (2004), *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Rapport. The Royal Society, London.

The Sixth Framework Programme (2004), *Integrating and strengthening the European Research Area*. Rapport. The Sixth Framework Programme, Bryssel.

Türk, V. Kaiser, C. Vedder, D. Liedtke, C. Kastenholz, H. Köhler, A. Knowles, H. Murray, V. (2005), *Nanlologue Background Paper on selected nanotechnology applications and their ethical, legal and social implications*. Rapport. Nanologue, Bryssel.

Vetenskapsrådet (2002), *Semiconductor Laboratory, Ångström Laboratory, Microtechnology Centre - an evaluation,* Vetenskapsrådets rapportserie, 2002:2, Vetenskapsrådet, Stockholm.

Vetenskapsrådet (2004) *En stark grundforskning i Sverige – Vetenskapsrådets forskningsstrategi för 2005–2008.* Vetenskapsrådets Propositionsunderlag, Vetenskapsrådet, Stockholm.

Vetenskapsrådet (2005), *Evaluation of the Swedish condensed matter physics, 2004,* Vetenskapsrådets rapportserie 2005:12, Vetenskapsrådet, Stockholm.

VINNOVA (2004), *Strategi för tillväxt – Bioteknik, en livsviktig industri i Sverige*. Rapport. VINNOVA Policy 2005:01. VINNOVA, Stockholm.

VINNOVA (2005), *Kunskap för säkerhets skull: förslag till en nationell strategi för säkerhetsforskning*. Rapport. VINNOVA Policy 2005:01. VINNOVA, Stockholm.

Wallerius, A. (2005), ”Femton företag som tror på nano”, 05-05-09, *Ny teknik*, www.nyteknik.se.

Warris, C. (2004) *Nanotechnology Benchmarking Project.* Rapport. Australian Academy of Science, Australien.

Westman, M. (2005) ”Svårt att få igång riskdebatt om nano” 05-06-23, *Ny teknik*, www.nyteknik.se.

Internetkällor

European Nanobusiness Association (2006), http://www.nanoeurope.org (2006-09)

Global Nanotechnology Network (2006), http://www.globalnanotechnologynetwork.org/ (2006-09)

ISO (2006), *ISO launches work on nanotechnology standards.* http://www.iso.org/iso/en/commcentre/pressreleases/archives/2005/Ref980.html (2006-09)

KTH (2006), *Nanoteknik på KTH.* www.kth.se/nano/ (2006-07-24)

MNT ERA-Net (2006), http://www.mnt-era.net (2006-10)

Myfab (2006), http://www.myfab.se (2006-09)

Nano Øresund (2006), http://www.nano-oresund.com (2006-08)

Nano2life (2006), http://www.nano2life.org (2006-08)

Nanoforum.org (2006), http://www.nanoforum.org (2006-03 till 2006-12)

Nationalencyklopedin (2006), www.ne.se (2006-03 till 2006-12)

NIOSH (2006), *NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology*. http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/ (2006-09)

Nordisk InnovationsCenter (2006), http://www.nordicinnovation.net/focus.cfm?id=1-4416-7 (2006-06-13)

OLPA (2006), *21st Century Nanotechnology Research and Development Act*. http://olpa.od.nih.gov/legislation/108/publiclaws/nanotechnology.asp (2006-09)

SINANO (2006), http://www.sinano.org (2006-09)

US Food and Drug Administration (2006), *Nanotechnology*. http://www.fda.gov/nanotechnology/ (2006-09)

Databaser

Nanovip.Com (2006), *The international nanotechnology business directory*. www.nanovip.com (2006-08-05)

Noyons, E.C.M. Buter, R.K. van Raan, A.F.J. Schmoch, U. Heinze, T. Hinze, S. Rangnow, R. (2003), *Mapping Excellence in Science and Technology across Europe*. (1996-2001). http://studies.cwts.nl/projects/ec-coe/cgi-bin/izite.pl?show=home (2006-09)

Regeringens lagrum (2006), www.lagrummet.se (2006-11)

UC (2006), https://www.uc.se (2006-08)

Intervjuer

Bengtsson, Stefan; *Chalmers Tekniska Högskola*

Billquist, Kenneth; *Näringsdepartementet / Kungliga Tekniska Högskolan*

Höglund, Linda; *Acreo AB*

Johansson, Börje; *Uppsala Universitet*

Kasemo, Bengt; *Chalmers Tekniska Högskola*

Lundström, Patrik; *Obducat AB*

Montelius, Lars; *Lunds Universitet*

Nordberg, Patrik; *Midorion AB*

Rao, Venkat; *Kungliga Tekniska Högskolan*

Savage, Steven; *Totalförsvarets forskningsinstitut*

von Dorrien, Mikael; *Nanofactory Instruments AB*

Bilagor

Bilaga A: Sammanställning av instituten och högskolornas verksamhetsområden inom nanovetenskap och nanoteknik[164]

	Högskola	Verksamhetsområde
Högskolor	**CTH/GU**	• Nanolitografi och visualisering (sveptunnelmikroskopi) • Manipulering av nanopartiklar och nanokluster • Nanokatalys • Nanooptik • Teoretiska aspekter på nanostrukturerade material • Fullerener och nanorör • Kvantdatorer
	Högskolan i Halmstad	• Nanoelektronik
	Högskolan i Kalmar	• Molekylära motorer för nanosystemtekniska och biomedicinska tillämpningar • Nanomagnetism
	Karolinska Institutet /Stockholms Universitet	• Medicin, bioteknik, life science
	KTH	• Halvledarteknik, fotonik och nanomaterial • Multifunktionella nanopartiklar för drug delivery
	Linköpings Universitet	• Funktionella material • Molekylär elektronik och bioteknik • Visualisering (atomkraftmikroskop, sveptunnelmikroskopi) • Nanomagnetism • Nanostrukturer i halvledare (kvantprickar och -trådar) • Självorganiserande ytor • Fullerener och nanorör
	LU	• Nanotrådar, kvanttrådar (nanoträd) • Kvantprickar • Nanomagnetism • Nanolitografi för life science-applikationer • Kolnanorör
	Luleå Tekniska Universitet	• Ytkemi och materialteknik
	Mittuniversitetet	• Sensorområdet och elektronikproduktion • Visualisering (elektronmikroskopi)
	Mälardalens Högskola	• Molekylär elektronik, nanobiologi och instrument för nanoteknik
	Umeå Universitet	• Nanomaterial • Nanomagnetism • Fullerener, nanostrukturer i kol

[164] Sammanställningen är mycket översiktlig och informationen är sammansatt från diverse källor, bland annat artiklar, intervjuer och de två rapporterna *Evaluation of the Swedish Condensed Matter Physics*, Vetenskapsrådet (2005) samt *Små funktionella komponenter baserade på Mikro- och Nanosystem*, Söderkvist, J, Vogel, O, (2004)

	Uppsala Universitet	• Bioteknik, life science och tvärvetenskapliga teoriverktyg • Nano- och biomagnetism • Nanostrukturerade material • Nanooptik • Fullerener och nanorör
	Örebro Universitet	• Teoretiska aspekter på elektromagnetiska nanopartiklar

	Institut	Verksamhetsområde
Industriforskningsinstitut	**IVF**	• Solceller och displayer
	Acreo	• Biochip och optiska system • Material för halvledarkomponenter • Kvantprickar
	Imego	• Biosensorer, mikrosystem samt sensorsystem som baseras på optiska och magnetiska element.
	SP	• Mätning av nanopartiklar och ytor
	KIMAB	• Nanopartiklar och ytor
	Stfi-Packforsk	• Nanoteknikapplikationer för skogsindustrin
	Trätek	• Nanoteknikapplikationer för skogsindustrin
	YKI	• Ytstrukturer på nanometernivå
	Sicomp	• Nanostrukturer i polymera material

Bilaga B: Vetenskaplig aktivitet och excellens inom nanoteknik (1996-2001)[165]

De 10 mest aktiva svenska högskolorna	Antal publikationer	Antal citeringar	Antal publikationer bland de 10% mest citerade	Antal citeringar per publikation	Antal citeringar per publikation normaliserat[166]
CTH	460	720	10	1.5652	1.35
LU	432	1163	10	2.6921	1.61
UU	354	878	13	2.4802	1.60
GU	299	505	6	1.6890	1.35
KTH	223	394	3	1.7333	1.14
LiU	217	522	9	2.4055	2.36
KI	107	795	10	7.4299	2.12
SU	54	110	1	2.0370	0.87
Umeå U	54	222	2	4.1111	1.28
Luleå TU	27	92	2	3.4074	3.53

Aktörer, exklusive högskolor, med fler än 5 publicerade artiklar	Antal publikationer	Antalet Citeringar	Antal publikationer bland de 10% mest citerade	Antal citeringar per publikation
YKI. Ytkemiska institutet	65	224	2	3.45
Pfizer (Pharmacia)	43	274	4	6.37
Astrazeneka	31	95	1	3.06
Biacore	25	88	2	3.52
FOI. Totalförsvarets forskningsinstitut	15	13	0	0.87
Imego	7	0	0	0.00
Arbetslivsinstitutet	7	0	0	0.00
ABB	5	4	0	0.80

[165] Noyons et al (2003), från databasen http://studies.cwts.nl/projects/ec-coe/cgi-bin/izite.pl?show=home
[166] Normaliserat med avseende på det vetenskapliga fältets generella citeringsfrekvens

Bilaga C: Centrumbildningar i Sverige inom nanoteknik, Lennart Stenberg, VINNOVA 2006

Namn	UoH	Period	Totala anslag[167]	Typ av centra och finansiär
NANOWIRES for Fundamental Materials Science and Quantum Physics and for Applications in Electronics, Photonics and in Life-sciences	LU	2006-2010	22	Starka Forskningsmiljöer, Vetenskapsrådet
Nanowires for emerging nanoelectronics and life-science applications	LU	2006-2010	34	Strategiska Forskningscentra, Stiftelsen för Strategisk Forskning
Strategic Research Center for Nano Science	LU	2004-2008	40	SRC in Microelectronics, Stiftelsen för Strategisk Forskning
Nanoscience and Quantum Engineering	LU	2007-2016	87	Linné, Vetenskapsrådet, Formas
Strategic Research Center for Nanodevices and Quantum Computing (NANODEV)	CTH	2004-2008	30	SRC in Microelectronics, Stiftelsen för Strategisk Forskning
Engineered quantum systems	CTH	2007-2016	100	Linné, Vetenskapsrådet, Formas
Functional Nanoscale Materials	LiU	2007-2016	70	VINN Excellence Center, VINNOVA
Materials Science for Advanced Surface Engineering, MS²E	LiU	2007-2010	45	Strategiska Forskningscentra, Stiftelsen för Strategisk Forskning
Linköpings Linnéinitiativ för nya funktionella material (LILi-NFM)	LiU	2007-2016	80	Linné, Vetenskapsrådet, Formas
Hierarchic Engineering of Industrial Materials	KTH	2007-2016	70	VINN Excellence Center, VINNOVA
Uppsala Berzelii Centra for Basic and Applied Research in BioNanoTechnology	UU	2007-2016	100	Vetenskapsrådet och VINNOVA

År 2005 finansierades 2 centra med i snitt 14 miljoner SEK för det året, år 2007 beräknas motsvarande siffra vara 11 centra och 80,4 miljoner SEK.

[167] Miljoner SEK

Bilaga D: Nationella finansiärer inom nanoteknik, samt EU genom RP6

Finansiärernas verksamheter är klassade efter typ av finansiering; finansiering av forskning (F), utveckling (U), demonstration (D) och/eller utbildning (Ut). Finansieringen av centrumbildningarna är ej inkluderad i denna tabell utan finns beskriven i bilaga C. Programmen listade i tabellen tangerar många fall andra områden som mikroteknik och övrig bio och materialteknik som inte strikt är nanoteknik. Det finansieras troligen nanoteknikprojekt även i program som inte är etiketterade som nanoteknikprogram. Detta gör det svårt att uppskatta hur mycket som satsas på området per år. Om man utgår från programmen listade i nedanstående tabell hamnar man på närmare 215 miljoner SEK per 2005 som dessa finansiärer satsat på nanoteknisk forskning, utveckling och demonstration. Värt att nämna är att Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse gjorde stora satsningar på området detta år.

Detta exkluderar det som näringslivet satsar på området, vilket inte varit möjligt att fastställa inom ramen för studien. Akademins fakultetsanslag inkluderas heller inte, liksom eventuella satsningar som gjorts från andra mindre finansiärer, exempelvis Rymdstyrelsen, Naturvårdsverket, Vårdalstiftelsen, Riskbankens Jubileumsfond etc. Dock kan det konstateras att dessa inte har gjort större satsningar.

Informationen kommer från forskningsfinansiärernas hemsidor och årsredovisningar.

Finansiär		Program	Typ	Period	Totala anslag
Internationella	EU-kommissionen	Stöd till forskning och utveckling inom sjätte (FP6) och sjunde (FP7) ramprogrammet.	F/U	FP6 (2002-2006)	Svenska aktörer i FP6: 27,4 M €[168]
				FP7 (2007-2013)	Total budget nanoteknik[169]: 3,5 miljarder €
	Nordic Innovation Centre	8 nordiska projekt där syftet är att kommersialisera befintlig forskning[170].	U/D	2006 - 2007	ca 12 M SEK
Statliga myndigheter	VINNOVA[171]	**BioNanoIT:** program för forskning, utveckling och demonstration som kopplar ihop biovetenskaper med mikro/nanovetenskap och IT	F/U/D	2002-2007	45,6 M SEK hittills
		Mikro- och nanosystem: program för forskning, utveckling eller demonstration	F/U/D	2002- [172]	90 M SEK
		Designade material inkl nanomaterial: möjlighetsprövning och konceptverifiering för FoU-inriktade företag.	U/D	2006-2007	ca 20 M SEK
		Multidisciplinary BIO[173]: samverkansprojekt mellan japanska och svenska forskare	F/U	2004-2008	12 M SEK
	Vetenskapsrådet	Konkurrensutsatta medel till grundforskning	F	löpande	ca 10 M årligen[174]
	Formas[175]	**Multidisciplinary BIO**[176]: samverkansprojekt mellan japanska och svenska forskare	F/U	2004-2008	12 M SEK

[168] För tecknade kontrakt i FP6 t.o.m. 24/1 2006.
[169] Nano-sciences, Nano-technologies, Materials and new Production Technologies
[170] Ett antal tidigare enskilda projekt har finansierats, lika så bredare initiativ som *Nordic NanoTrade* och *NANONORD*.
[171] Ett antal enskilda projekt har även finansierats utanför ramen för dessa program.
[172] Nytt program planeras inom området och 2004 tillfördes verket 100 miljoner SEK som stöd till tillämpad industriforskning inom IT/Telecom inriktad mot nano- och mikroelektronik. Angiven summa är baserad på finansierade projekt till och med 2005.
[173] Tillsammans med SSF, 12 M SEK från respektive finansiär.
[174] 40 miljoner SEK årligen enlig (forskning.se 2006-05-28), kring 30 går till de starka forskningsmiljöerna inom nanoteknik som exkluderas i listan.
[175] Inga övriga direkta nanoteknikprogram men nanoteknikprojekt har finansierats under bredare program relaterade till miljö, areella näringar och samhällsbyggande.
[176] Tillsammans med VINNOVA, 12 M SEK från respektive finansiär.

	Energi-mynidgheten	**Grätzelsolceller**: forskningsprojekt KTH och IVF	F/U	2006–2008	17 M SEK
		ÅSC-programmet, Ångström Solenergicentrum[177] F/U	F/U/D	1998-2005	75 M SEK
	FOI	**Försvarets nanoteknikprogram:** Från forskning till demonstration	F/U/D	2003-2008	100 M SEK
Stiftelser	**SSF, Stiftelsen för Strategisk Forskning**	**Nano-X:** postdoktoralt program inom tillämpad nanovetenskap och nanoteknik	F	2006-2010	80 M SEK
		Ett antal forskningscentrum samt enskilda project som Nanochemistry på KTH, CARAMEL på CTH, NANOPTO på LiU etc. Totalt 22 st	F	1996-2006	Över 400 M SEK
	KK-stiftelsen	**minST, Mikro- och nanosystemteknik:** program för att utbilda mindre svenska företag inom mikro- och nanosystemteknik	U/Ut	2004-2006	15 M SEK
		7 övriga projekt, både forskning och forskarutbildning	F/U/D/ Ut	2001-	11,6 M SEK
	Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse	Stipendier för postdoktorala studier i gränsöverskridande mikro/nanovetenskap	F/Ut	2004	50 M SEK
		Satsning på forskning och utrustning inom nanovetenskap	F/U	2004 / 2005	124 M SEK/70,8 M SEK
		NANOSCIENCE center i Lund	F/U	2003	10 M SEK
		Neuronanoscience Centre i Lund	F/U	2005-2010	40 M SEK
	MISTRA	**ÅSC-programmet**, Ångström Solenergicentrum[178]		1998-2005	75 M

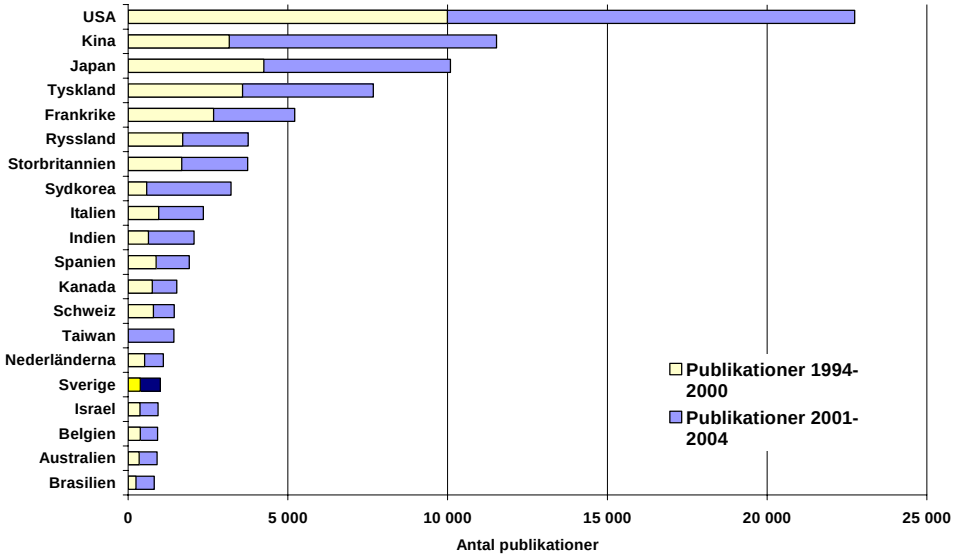
[177] Tillsammans med Mistra, 75 M SEK från respektive finansiär.
[178] Tillsammans med Energimyndigheten, 75 M SEK från respektive finansiär.

Bilaga E: Projekt inom RP6 som koordineras av svenska aktörer

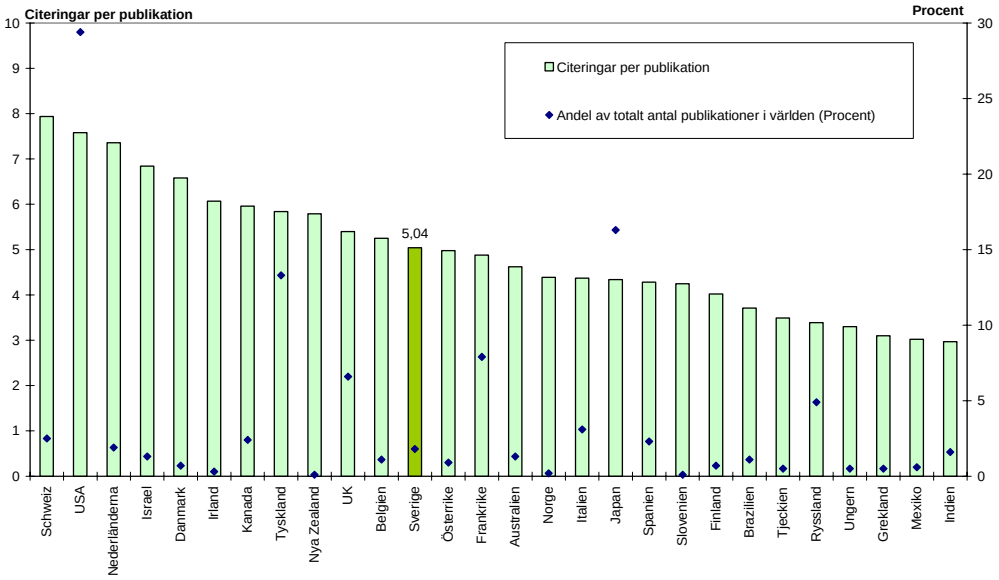
Akronym	Titel	Koordinator	Antal deltagare
CANEL	Carbon-based nanoelectromechanical devices	Chalmers Tekniska Högskola	4
NANOBIOMAPS	Imaging mass spectrometry for nanoscale mapping of biological cells and tissues	Sp SverigeS Provnings- och Forskningsinstitut	6
AMNA	Addressable Molecular Node Assembly - a Generic Platform of Nano-scale Functionalised Surfaces Based on a Digitally Addressable Molecular Grid	Chalmers Tekniska Högskola	4
NODE	Nanowire-based One-Dimensional Electronics	Lunds Universitet	12
NANOSTAR	Nano-Structured Ferrolectric Films for Tuneable Acoustic Resonators and Devices	Chalmers Tekniska Högskola	6
NANDOS	Nanophotonic and Nanoelectronic Devices from Oxide Semiconductors	Göteborgs Universitet	7
EMISHIELD	A Novel Gasket and Seal System used for EMI Shielding Using Double Percolation of Carbon Nanotube Technology to Improve Safety, Profitability and Productivity for SMEs	Roxtec International AB	8
BIOSCOPE	Self-reporting biological nanosystems to study and control bio-molecular mechanisms on the single molecule level	Lunds Universitet	9
NANOFOREST	A nanotechnology roadmap for the forest products industry	Stfi-Packforsk AB	4
NABIS	NANOBIOTECHNOLOGY WITH SELF-ORGANISING STRUCTURES	Kungliga Tekniska Högskolan	6
NANOCUES	Nanoscale surface cues to steer cellular biosystems	Chalmers Tekniska Högskola	7
NANOQUANT	Understanding Nano-Materials From the Quantum Perspective	Kungliga Tekniska Högskolan	10
CANEL	Carbon-based nanoelectromechanical devices	Chalmers Tekniska Högskola	4

Bilaga F: Bibliometriska indikatorer[179]

Figur 16 Världens produktion av nanotekniska publikationer 1994-2000 respektive 2001-2004, data Thomson ISI 2005[180]



Figur 17 Antal citeringar per publicerad artikel samt andel publicerade artiklar av den total världsproduktionen för ett urval av länder, 1992-2001 (Antal och procent)



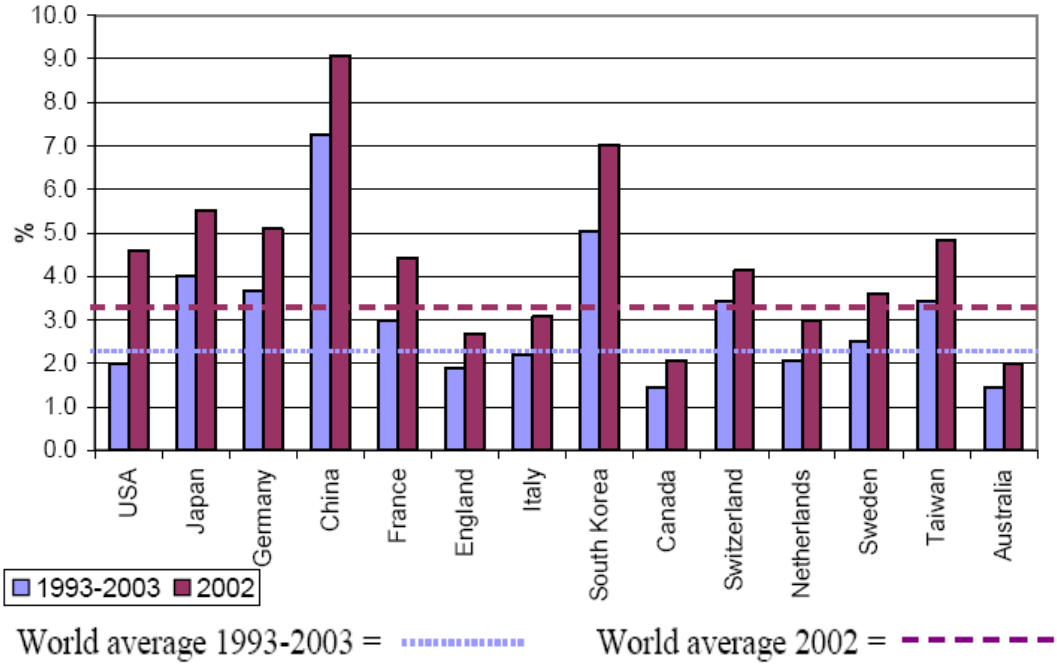
M.Mayer, "Nanotechnology in Sweden", 2005. Citeringar per publicerad artikel avser åren 1992-1999

---

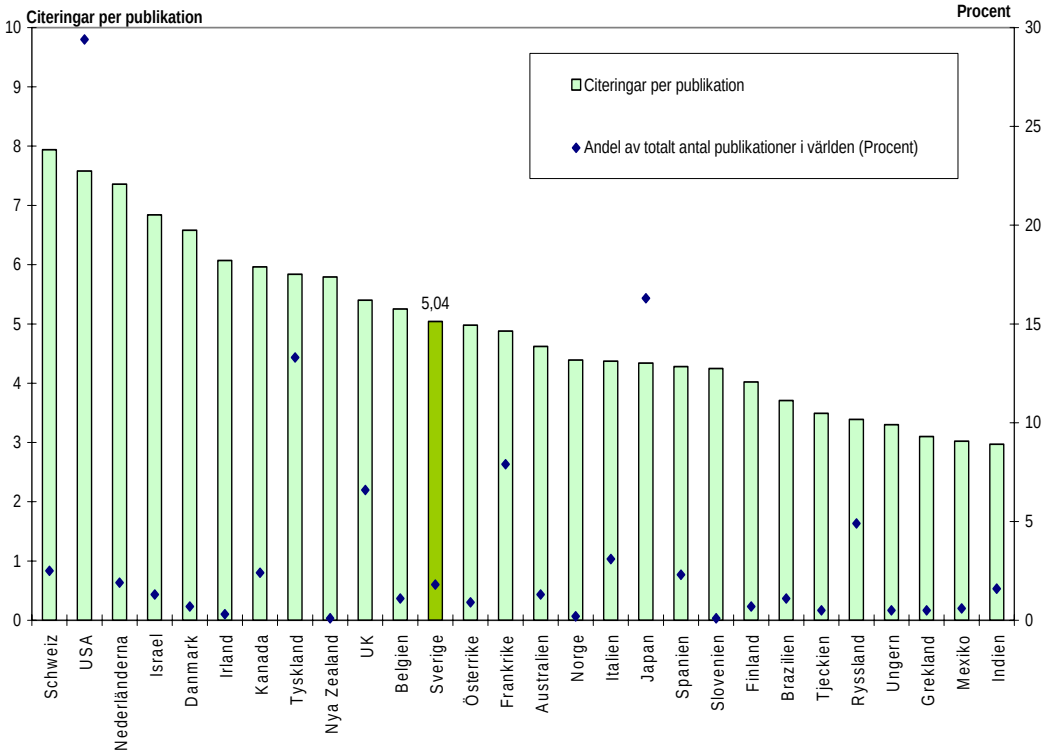
[179] Olikheterna i resultaten relateras till olika tidsspann och olikheter i sökmetoder.

[180] Data beställd och publicerad av Engineering and Pysical Sciences Research Council (2005) http://www.epsrc.ac.uk/CMSWeb/Downloads/Other/NanotechnologyThemeday2005.doc#_Toc118883223

Figur 18 Procent av ett antal länders publikationer som är nanoteknikrelaterade, från Warris (2004)



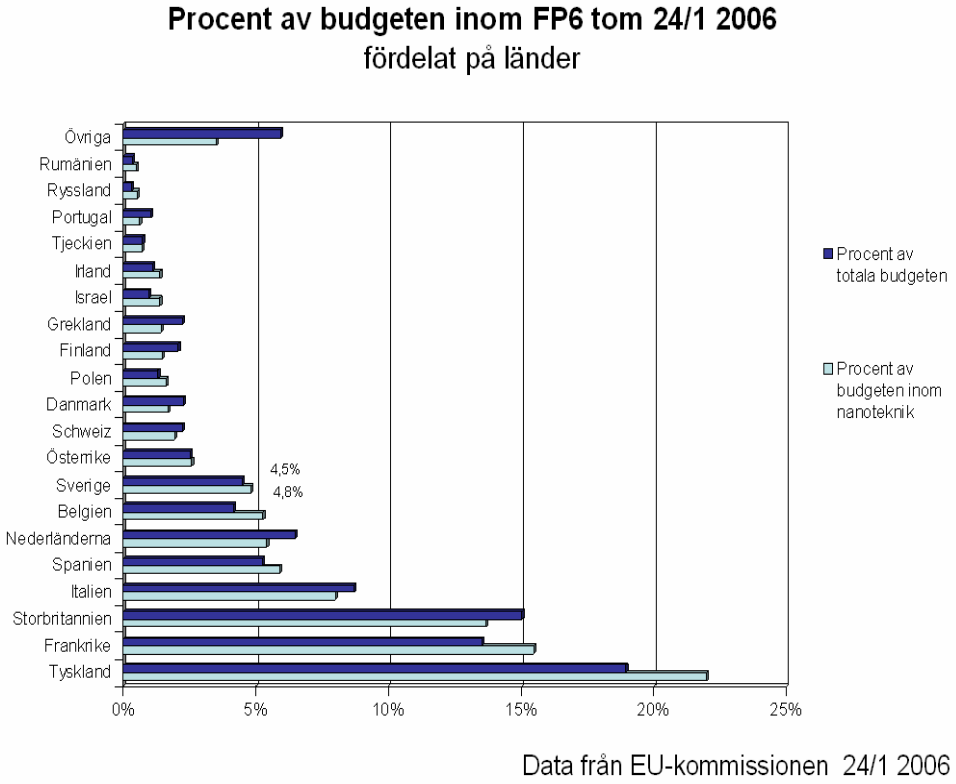
Figur 19 Antal citeringar per publicerad artikel samt andel publicerade artiklar av den total världsproduktionen för ett urval av länder, 1992-2001 (Antal och procent)



M.Mayer, "Nanotechnology in Sweden", 2005. Citeringar per publicerad artikel avser åren 1992-1999

Bilaga G: Fördelning av anslagen inom 6:e ramprogrammet över deltagande länder

Figur 20 Fördelning av anslagen inom 6:e ramprogrammet

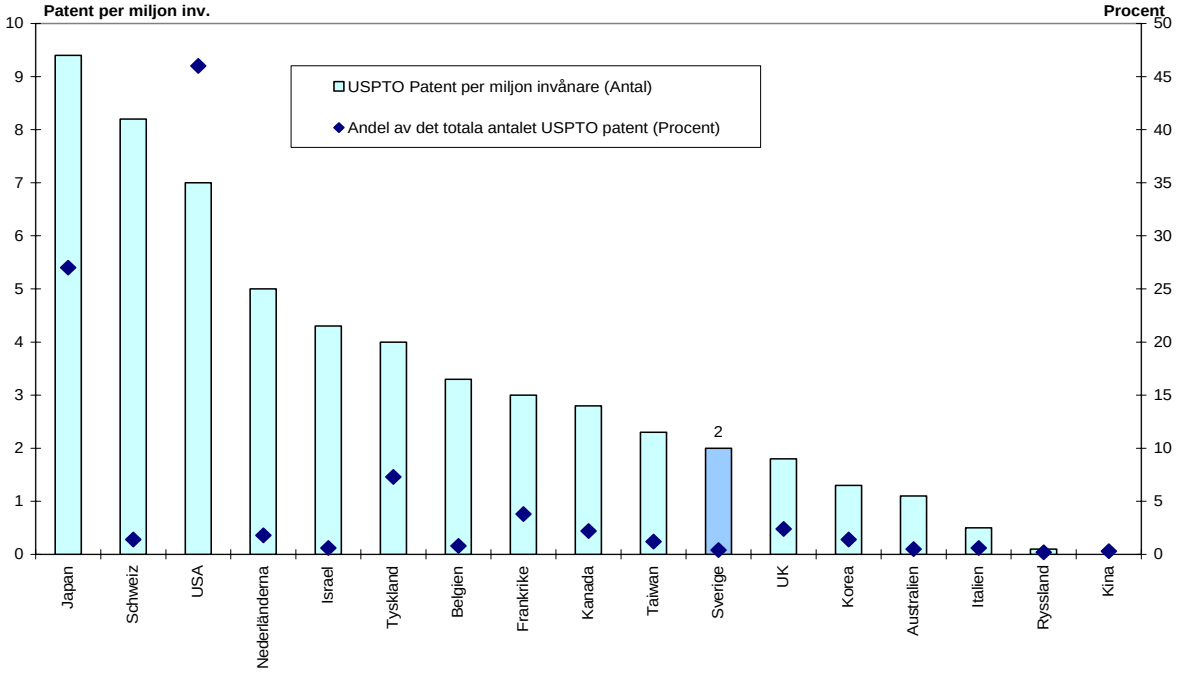


Fördelningen av de konkurrensutsatta anslagen inom EU:s ramprogram för forskning och utveckling kan ses som en indikator på vetenskaplig kvalitet i forskningen[181]. Detta täcker långt ifrån endast vetenskaplig forskning utan även teknisk utveckling som involverar företag. Dock är forskargrupperna från universiteten dominerande bland deltagarna. Då 55% av budgeten för sjätte ramprogrammet är kontrakterad har kring 566 miljoner euro allokerats till nanoteknikrelaterade projekt . Av dessa har Sverige erhållit 27 miljoner euro. Nedan följer en figur med fördelningen av de 566 miljonerna på de främsta länderna.

[181] Dock påverkar aktörers förmåga att skriva bra ansökningar och ingå i framgångsrika samarbeten utfallet, vilket inte direkt beror på aktörens vetenskapliga kvalitet.

Bilaga H: Patenteringsaktivitet

Figur 21 Antal nanopatent (USPTO) samt andel patent av den totala stocken nanopatent (USPTO), 1992-2001 (Antal och procent)



M.Mayer, "Nanotechnology in Sweden", 2005

VINNOVAs publikationer

Januari 2007

För mer info eller för att se tidigare utgivna publikationer se www.VINNOVA.se

VINNOVA Analys

VA 2007:

01 Nanoteknikens innovationssystem

VA 2006:

01 End of an era? Governance of Swedish innovation policy. *För svensk version se VA 2005:07*

02 Forskning och utveckling vid små och medelstora företag. *Finns endast som PDF*

03 Innovationsinriktad samverkan. *Finns endast som PDF*

04 Teknikbaserat nyföretagande i Sverige 1990 - 2003. *Finns endast som PDF*

05 Offentligt stöd till universitetens samverkansuppgift - en internationell kartläggning. *Finns endst som PDF*

06 Inkubatorer i Sverige - analys av indikatordimensioner och nyttoefektivitet. *Finns endast som PDF*

VA 2005:

01 Wood Manufacture - the innovation system that beats the system. *För svensk version se VA 2004:02.*

02 Nationella och regionala klusterprofiler - Företag inom bioteknik, läkemedel och medicinsk teknik i Sverige 2004

03 Innovation policies in South Korea and Taiwan. *Finns endast som PDF*

04 Effektanalys av nackskadeforskningen vid Chalmers - Sammanfattning. *Kortversion av VA 2004:07, för kortversion på engelska se VA 2005:05*

05 Impacts of neck injuries research at Chalmers University of Technology - Summary. *Kortversion av VA 2004:07, för kortversion på svenska se VA 2005:04*

06 Forskningsverksamhet inom produktframtagning i Sverige - en ögonblicksbild år 2004

07 En lärande innovationspolitik - samordning och samverkan? *För engelsk version se VA 2006:01*

08 Svensk trafiksäkerhetsforskning i tätposition - Framträdande forskare och forskningsmiljöer i statligt finansierad trafiksäkerhetsforskning 1949 - 2005

VA 2004:

01 The Swedish National Innovation System 1970-2003 - a quantitative international benchmarking analysis

02 Trämanufaktur - det systembrytande innovationssystemet. *För engelsk version se VA 2005:01*

03 Impacts of the Swedish Competence Centres Programme 1995-2003. *För kortversion på engelska respektive svenska se VA 2004:05 och VA 2004:06*

04 Telecom Dynamics - History and State of the Swedish Telecom Sectors and its Innovation System 1970-2003. Final Report. *Finns endast som PDF*

05 Impacts of the Swedish Competence Centres Programme 1995-2003 - Summary Report. *Kortversion av VA 2004:03, för kortversion på svenska se VA 2004:06*

06 Effekter av det svenska kompetenscentrumprogrammet 1995-2003 - Sammanfattande rapport. *Kortversion av VA 2004:03, för kortversion på engelska se VA 2004:05*

07 Effektanalys av nackskadeforskningen vid Chalmers. *För kortversion på svenska och engelska se VA 2005:04 och VA 2005:05*

VINNOVA Forum

VFI 2004:

01 Informationssamhället - åter till framtiden *(Innovationspolitik i Fokus)*

02 Svensk innovationskraft - visionen måste vara starkare än motståndet *(Innovationspolitik i Fokus)*

VINNOVA Information

VI 2006:

01 VINNOVAs verksamhet inom Transporter. *För engelsk version se VI 2006:07*

02 Årsredovisning 2005

03 Paving the Road. For Transport Innovation and Research

04 Drivkraft för tillväxt. VINNOVA 2005. *För engelsk version se VI 2006:08*

06 VINNVÄXT - Ett program som sätter fart på Sverige! *För engelsk version se VI 2006:15*

07 VINNOVA´s activities within the Transport Sector. *För svensk version se VI 2006:01*

08 A driving Force for Growth. VINNOVA 2005. *För svensk version se VI 2006:04*

09 Komplexa sammansatta produkter - Projektkatalog 2006

10 VINNVINN - Mötesarena för nya affärsmöjligheter och arbetstillfällen

13 VINNOVA´s Activities in Biotechnology.

14 Arbetslivsutveckling - VINNOVAs satsningar inom arbetslivsområdet

15 VINNVÄXT - A programme to get Sweden moving! *För svensk version se VI 2006:06*

16 Competence Centres in Figures - Kompetenscentrum i siffror

17 E-tjänster i offentlig verksamhet. *För engelsk version se VI 2006:18*

18 E-Services in Public Administration. *För svensk version se VI 2006:17*

19 Effektiv Produktframtagning - Projektkatalog 2006

20 Forskning och innovation för hållbar tillväxt

VI 2005:

02 Årsredovisning 2004

04 DYNAMO -Beskrivningar av de 18 projekt som ingår i programmet

05 Den dubbla vinsten. VINNOVA 2004

06 VINNOVA - For an innovative Sweden!

08 Swedish research for growth. A VINNOVA magazine

09 Kunskapsbildning och organisering - Ett program för förnyelse och innovation

10 Innovationsprocesser i Norden - Ett program för organisering av utvecklingsarbete med bred medverkan. *Finns endast som PDF*

VI 2004:

01 Årsredovisning 2003

04. VINN EXCELLENCE CENTER. *För engelsk version se VI 2004:05*

05 VINN EXCELLENCE CENTRES. *För svensk version se VI 2004:04*

08 The Swedish Competence Centres Programme. Third International Evaluation - Group 2-6 (19 Centres) and Overall Impressions and Programme-wide Issues.

VINNOVA Policy

VP 2006:

01 På spaning efter innovationssystem. *För engelsk version se VP 2006:02*

02 In search of innovation systems. *För svensk version se VP 2006:01*

VP 2005:

01 Kunskap för säkerhets skull.

Förslag till en nationell strategi för säkerhetsforskning. *För engelsk version se VP 2005:03*

02 Strategi för tillväxt - Bioteknik, en livsviktig industri i Sverige

03 Knowledge to safeguard security. Proposals for a national strategy for security research. *För svensk version se VP 2005:01*

04 Produktionsteknik & Fordonstelematik. Förslag till FoU-program

05 VINNOVA´s views on the European Commission´s proposal for the Seventh Framework Programme on Research & Technological Development 2007 - 2013. Position paper

VP 2004:

01 Nationell strategi för transportrelaterad FUD

VINNOVA Rapport

VR 2007:

01 Design of Functional Units for Products by a Total Cost Accounting Approach

VR 2006:

01 Det förbisedda jämställdhetsdirektivet. Text- och genusanalys av tre utlysningstexter från VINNOVA

02 VINNOVAs FoU-verksamhet ur ett jämställdhetsperspektiv. Yrkesverksamma disputerade kvinnor och män i VINNOVAs verksamhetsområde

03 ASCI: Improving the Agricultural Supply Chain - Case Studies in Uppsala Region. *Finns endast som PDF*

04 Framtidens e-förvaltning. Scenarier 2016. *För engelsk version se VR 2006:11*

05 Elderly Healthcare, Collaboration and ICT - enabling the Benefits of an enabling Technology. *Finns endast som PDF*

06 Framtida handel - utveckling inom e-handel med dagligvaror

07 Tillväxt stavas med tre T

08 Vad hände sen?- Långsiktiga effekter av jämställdhetssatsningar under 1980- och 90-talen

09 Optimal System of Subsidization for Local Public Transport. *Finns endast som PDF*

10 The Development of Growth oriented high Technology Firms in Sweden. *Finns endast som PDF*

11 The Future of eGovernment - Scenarios 2016. *För svensk version se VR 2006:04*

12 Om rörlighet - DYNAMO-programmets seminarium 12 - 13 juni 2006

13 IP-telefoni - En studie av den svenska privatmarknaden ur konsument- & operatörsperspektiv

14 The Innovation Imperative - Globalization and National Competitiveness. Conference Summary

15 Public e-services - A Value Model and Trends Based on a Survey

16 Utvärdering av forskningsprogrammet Wood Design And Technology - WDAT

VR 2005:

01 Effektivt arbete i processindustrin Hur man gör. Från strategi till genomförande

02 Teori och metod för val av indikatorer för inkubatorer. *Finns endast som PDF*

03 Informations- och kommunikationsteknik i USA. En översiktsstudie om satsningar och trender inom politik, forskning och näringsliv.

04 Information and Communications Technology in Japan. A general overview on the current Japanese initiatives and trends in the area of ICT.

05 Information and Communications Technology in China. A general overview of the current Chinese initiatives and trends in the area of ICT.

06 Hälsa & lärande. Frågor för hälso- och sjukvårdssystemet

07 Samhandling för innovationsledd tillväxt

08 Tekniköverföring från landbaserade fordon till mindre fartyg - fas 1. *Finns endast som PDF*

09 Nya emissionskrav för dieselmotorer - en katalysator för svensk industri? *Finns endast som PDF*

10 Samarbete mellan KTH och kringliggande industriforskningsinstitut - nuläge och utvecklingsmöjligheter

11 ICT-based Home Healthcare. *Finns endast som PDF*

12 Kompetensutveckling i små och medelstora företag - SMF. En kvalitativ studie av konferensdeltagares utsagor

13 The KTH Entrepreneurial Faculty Project

14 OLD@HOME Technical Support for Mobile Close Care. Final Report. *Finns endast som PDF*

15 Värdeskapande innovationsmiljöer

VR 2004:

01 Nya material och produkter från förnyelsebara råvaror. En framtidsbild och vägen dit. *För kortversion se VR 2004:02*

02 Nya material och produkter från förnyelsebara råvaror. *Kortversion av VR 2004:01.*

03 Evaluation of the NUTEK-VINNOVA programme in Complex Technical Systems 1997-2001. Utvärdering av ett FoU-program i Komplexa Tekniska System 1997-2001

04 Förnuft och känsla - en narrativ studie om äldre kvinnors bilkörning. *Finns endast som PDF*

05 Equipment for Rational Securing of Cargo on Railway Wagons. Utrustning för rationell säkring av last på järnvägsvagnar (jvgRASLA). *Finns endast som PDF*

06 Innovationspolitik för ITS. En studie av aktörsnätverk kring Intelligenta TransportSystem. *Finns endast som PDF*

07 Svensk forskning - rik på upplevelser. *Finns endast som PDF*

08 Fånga Vinden! - en klokbok för tillväxt

09 Utvärdering av det Nationella Flygtekniska Forskningsprogrammet

10 Forskning och Innovation i Småföretag. SBIR - Small Business Innovation Research. Ett amerikanskt program för behovsmotiverad forskning utförd av mindre företag

11 Arbetsgivarringar i Sverige - förekomst, funktion och nytta

12 Evaluation of the Öresund contracts for cross-border R&D cooperation between Denmark and Sweden

13 Det öppna svenska innovationssystemet - en tillgång för Sverige?

Produktion & layout: VINNOVAs Kommunikationsavdelning
Tryck: E-PRINT AB, www.eprint.se
Januari 2007
Försäljning: Fritzes Offentliga Publikationer, www.fritzes.se

VINNOVA är en statlig myndighet
med uppgift att främja hållbar tillväxt
genom finansiering av behovsmotiverad forskning
och utveckling av effektiva innovationssystem.

VERKET FÖR INNOVATIONSSYSTEM – SWEDISH GOVERNMENTAL AGENCY FOR INNOVATION SYSTEMS

VINNOVA, SE-101 58 Stockholm, Sweden Besök/Office: Mäster Samuelsgatan 56
Tel: +46 (0)8 473 3000 Fax: +46 (0)8 473 3005
VINNOVA@VINNOVA.se www.VINNOVA.se