



Muligheder



Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenskab og nanoteknologi



Ministeriet for Videnskab
Teknologi og Udvikling

Handlingsplan
December 2004



Teknologisk fremsyn
om dansk nanovidenkab og nanoteknologi

Handlingsplan
December 2004

Udgivet af:
Videnskabsministeriet

Ministeriet for Videnskab,
Teknologi og Udvikling
Bredgade 43
1260 København K
Telefon: 3392 9700
Telefax: 3332 3501

Publikationen udleveres gratis så længe
lager haves ved henvendelse til:

IT- og Telestyrelsen,
danmark.dk
Telefon: 1881
sp@itst.dk
www.netboghandel.dk

Publikationen kan også hentes på
Videnskabsministeriets hjemmeside:
www.vtu.dk og www.teknologiskfremsyn.dk
ISBN (internet): 87-91469-38-4

Tryk:
Grefta Tryk
Oplag: 1.500
ISBN: 87-91469-37-6

>

Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenkab og nanoteknologi

Handlingsplan

>

Executive Summary	5
1. Introduktion	9
2. Hvorfor satse på nanoteknologi?	11
3. Nanoteknologisk forskning i Danmark	13
4. Nanoteknologi i dansk erhvervsliv	15
5. De fremtidige videnskabelige, teknologiske og erhvervsmæssige perspektiver af nanoteknologi	17
6. Innovationsdynamikker og nanoteknologi	27
7. Risici, miljø og etiske aspekter ved anvendelse af nanoteknologi	29
8. Forsknings-, uddannelses- og innovationspolitiske anbefalinger	31
Bilag 1. Procesbeskrivelse – teknologisk fremsyn om nanoteknologi	41
Bilag 2. Tidshorisonter for nogle nanoteknologiske muligheder	44

>

Vision

Danmark skal frem mod år 2020 være iblandt de absolut bedste lande i verden til – inden for udvalgte områder – at beherske og omsætte nanoteknologi til industriel anvendelse, øget vækst og beskæftigelse – og til løsninger af væsentlige samfundsmæssige behov.

Dette er visionen fra den af Videnskabsministeriet nedsatte styregruppe for teknologisk fremsyn om nanoteknologi.

Hvorfor er nanoteknologi vigtigt for Danmark?

Beherskelsen af nanoteknologi anses af de førende industrilande som afgørende for deres økonomiske og teknologiske konkurrenceevne i det 21. århundrede. Nanoteknologi er en såkaldt generisk teknologi, der kan bane vej for en ny industriel revolution i lighed med indførelsen af dampmaskinen, elektrificeringen og computerteknologien. Nanoteknologi forventes at få endnu større indvirkning på samfundsudviklingen end introduktionen af halvlederchips, idet nanoteknologien vil finde afgørende anvendelse inden for mange andre områder end elektronik og it. Lægemidler uden bivirkninger doseret fra nanostrukturer, nye biokompatible materialer til implantater, optiske nanostrukturer til ultrahurtig kommunikation, biologisk produktion af materialer og nye katalysatorer til miljø- og energiteknologi er eksempler på fremtidige anvendelser af nanoteknologi.

Danske forskningsmiljøer og danske virksomheder står internationalt stærkt på en række nanoteknologiske områder, og Danmark har et godt fundament at bygge en fremtidig indsats på.

Hvad kræves der for at nå visionen?

Skal visionen realiseres, kræver det for det første et betydeligt løft i midlerne til forskning i nanovidenskab og nanoteknologi. For det andet kræver det et bevidst fokus på højteknologisk udvikling i danske virksomheder, der sikrer, at virksomhederne har kompetence, medarbejdere og kapacitet til at omsætte de nye gennembrud inden for nanoteknologi i produkter og positionering på markedet. Og for det tredje kræver en realisering af visionen, at indsatsen koordineres på tværs af Videnskabsministeriet, Højteknologifonden, det forskningsrådgivende og -bevilgende system inklusive Danmarks Grundforskningsfond og Rådet for Teknologi og Innovation.

Handlingsplanens elementer

Nanoteknologi er karakteriseret ved stor forskellighed, både hvad angår det teknologiske felt og tidshorisonterne for de industrielle anvendelser. Det betyder, at en koordineret strategi for nanoteknologi skal indeholde en bred vifte af initiativer, hvis

visionen skal realiseres. Styregruppen har følgende anbefalinger til en nanoteknologisk handlingsplan:

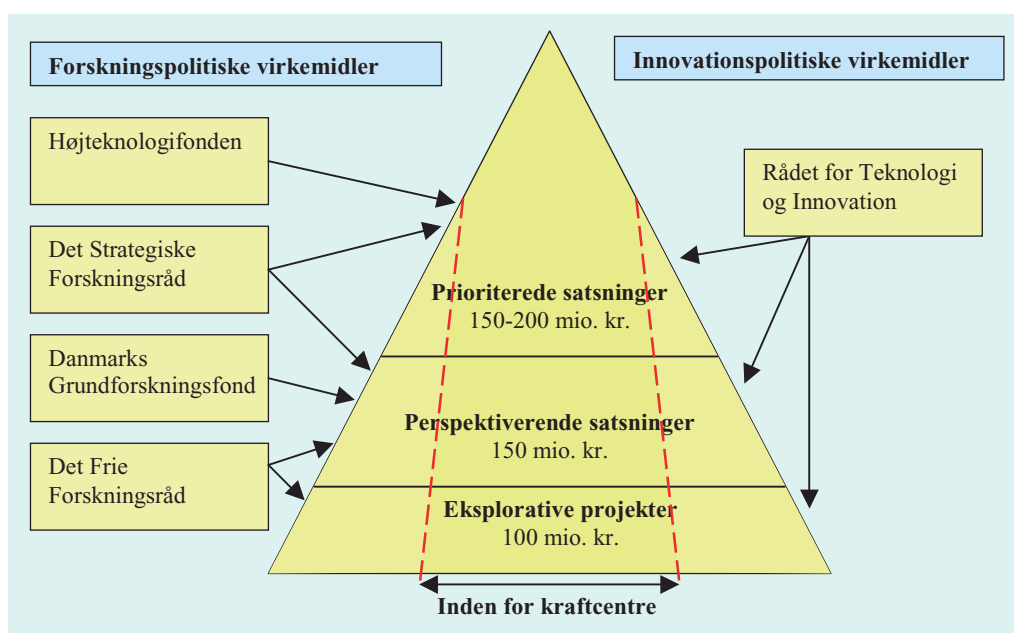
1. Prioriter teknologiområder
2. Skab samspil mellem nanoteknologisk forskning og højteknologisk erhvervsudvikling
3. Etabler nanoteknologiske kraftcentre (innovationshuse)
4. Forøg produktionen af kandidater og forskere
5. Udbred nanoteknologi bredt til danske virksomheder
6. Inddrag risici, sundhed, miljø og etik.

Forsknings- og innovationspolitisk satsning

Handlingsplanen lægger op til en samlet dansk nanosatsning på 400 til 450 millioner kroner årligt fra det forskningsrådgivende og forskningsbevilgende system. Hertil kommer bidragene fra institutionerne selv. Den samlede anbefalede indsats skønnes at svare til en fire- til femdobling i forhold til indsatsen i dag. Styregruppen foreslår, at der gennemføres tre typer af satsninger:

1. Prioriterede satsninger af størrelsesordenen 15-25 millioner kroner årligt inden for syv udvalgte teknologiområder, der har teknologiudvikling og industriel anvendelse som mål.
2. Perspektiverende satsninger af størrelsesordenen 5-15 millioner kroner årligt inden for områder med et lidt mere langsigtet potentiale.
3. Eksplorative projekter af størrelsesordenen 3-5 millioner kroner årligt inden for områder, hvor anvendelsesmulighederne ligger langt ude i fremtiden.

Figuren nedenfor illustrerer de overordnede sammenhænge i styregruppens anbefalinger til indsatser:



Prioriterede teknologiområder

Med henblik på at prioritere teknologiområder for en koncentreret dansk satsning har styregruppen valgt tre kriterier som de væsentligste: 1) industriel og samfundsmæssig relevans, 2) forskningsmæssige styrker og/eller potentialer, 3) global industriel, forskningsmæssig eller samfundsmæssig betydning. Ud fra disse kriterier peger styregruppen på syv teknologiområder, der er særligt løfterige for en dansk satsning på nanoteknologi:

- > Nanomedicin og drug delivery
- > Biokompatible materialer
- > Nanosensorer og nanofluidik
- > Plastelektronik
- > Nanooptik og nanofotonik
- > Nanokatalyse, brintteknologi med mere
- > Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber.

Nanoteknologiske kraftcentre

Det er en central anbefaling, at der dannes to nationale nanoteknologiske kraftcentre, der hver etableres med udgangspunkt i en fysisk koncentration af flere af de ovennævnte prioriterede og perspektiverende satsninger, og som har kritisk masse til at blive videnskabeligt og teknologisk internationalt førende på deres felter.

Fokus på risici, sundhed, miljø og etik

Samtidig med nanoteknologiens forventede positive muligheder og effekter knytter der sig også betydelige usikkerheder og nye og delvist ukendte risici til nanoteknologien. Eventuelle negative sider ved nanoteknologi skal derfor nøje overvejes og behandles i de enkelte aktiviteter.

>

Formålet med det teknologiske fremsyn for nanoteknologi er at tilvejebringe et videngrundlag om de nanovidenskabelige og nanoteknologiske udviklingsmuligheder over de næste 20 år, som kan danne grundlag for udviklingen af en sammenhængende og langsigtet dansk forsknings-, uddannelses- og innovationspolitik på området.

Et af de væsentligste resultater af fremsynet er denne handlingsplan for nanoteknologi, hvis hensigt er at udpege og begrunde, hvilke indsatsområder og perspektiver der med fordel kan forfølges i de kommende års forsknings-, uddannelses- og innovationspolitik inden for nanovidenskab og nanoteknologi.

Målgruppen for fremsynet og for handlingsplanen er Videnskabsministeriet og det forskningsrådgivende og -bevilgende system, herunder Rådet for Teknologi og Innovation, Danmarks Grundforskningsfond og Højteknologifonden.

Handlingsplanen lægger hovedvægt på anbefalinger, der fokuserer på de nærmeste år. En detaljeret planlægning af en dansk indsats over en længere årrække frem til år 2025 er ikke meningsfyldt, da nanoteknologi er et nyt, generisk teknologiområde, der internationalt set undergår en meget intens og hastig udvikling, og hvor man løbende må forholde sig til de optimale muligheder vurderet i en dansk kontekst.

Handlingsplanen er udarbejdet af den af Videnskabsministeriet nedsatte styregruppe, der består af:

- > Koncerndirektør Søren Isaksen, NKT Holding A/S (formand)
- > Professor, dr.scient. Flemming Besenbacher, Aarhus Universitet
- > Lektor Anja Boisen, Institut for Mikro- og Nanoteknologi, Danmarks Tekniske Universitet
- > Professor Peter Karnøe, Institut for Organisation og Arbejdssociologi, Handelshøjskolen i København
- > Sales Director Henrik N. Rasmussen, VersaMatrix A/S
- > Patentchef Lone Rossen, Patent- og Varemærkestyrelsen
- > Chefkonsulent Lars Strunge, Ingeniørforeningen i Danmark.

I forbindelse med det teknologiske fremsyn har en projektgruppe fra Forskningscenter Risø fungeret som metodemæssig konsulent samt sekretariat for styregruppen. Projektgruppen består af:

- > Programleder Per Dannemand Andersen (projektleder)
- > Seniorforsker Birgitte Rasmussen
- > Projektpilot Marianne Strange.

Som led i det teknologiske fremsyn har styregruppen ladet udarbejde en række delanalyser. Disse kan findes som bilag til handlingsplanen på en vedlagt cd-rom samt på www.teknologiskfremsyn.dk.

>

2. Hvorfor satse på nanoteknologi?



Nanoteknologi er en generisk teknologi, der kan bane vej for en ny industriel revolution i lighed med indførelsen af dampmaskinen, elektrificeringen og computerteknologien. Nanoteknologi forventes at få endnu større indvirkning på samfundsudviklingen end introduktionen af halvleder-chips, idet nanoteknologien vil finde afgørende anvendelse inden for mange andre områder end elektronik- og it-området. Lægemidler uden bivirkninger doseret fra nanostrukturer, nye biokompatible materialer til implantater, optiske nanostrukturer til ultrahurtig kommunikation, biologisk produktion af materialer og nye katalysatorer til miljø- og energiteknologi er eksempler på, hvad nanoteknologi vil bringe i fremtiden.

Nanoteknologi er et tværfagligt teknologiområde og involverer blandt andet disciplinerne fysik, kemi, biologi, molekylærbiologi, medicin og materialevidenskab. Beherskelsen af nanoteknologi anses af de førende industrilande som afgørende for deres økonomiske og teknologiske konkurrenceevne i det 21. århundrede.

Nanoteknologi defineres som evnen til at arbejde på det atomare, molekylære og supramolekylære niveau på en skala fra 0,1 til 100 nm med den hensigt at designe, fremstille, manipulere og anvende materialer, komponenter og systemer med nye funktionelle fysiske, kemiske og biologiske egenskaber.

Disse nye egenskaber fremkommer på grund af strukturerens lille skala og kan derfor ikke opnås på nogen anden måde. Integration med andre længdeskalaer og anvendelsesområder vil ofte være essentiel for teknologiske anvendelser.

Nanovidenskab handler om at opnå en forståelse af fundamentale fænomener, egenskaber og funktioner på nanoskalaen, som er ikke-skalerbare uden for nanometerdomænet.

En nanometer er 10^{-9} meter, en milliontedel af en millimeter. Det svarer til en afstand, der er cirka 100.000 gange mindre end tykkelsen af et hår. Naturens byggesten er atomer og molekyler, og en nanometer er en typisk længdeskala i den molekylære verden. Indtil for 20 år siden havde man ikke regnet med, at det ville blive muligt at "se" de enkelte atomer, endsige flytte rundt med dem.

I dag er situationen en anden. Med de nyeste såkaldte skanning-probe-mikroskoper er det nu muligt både at "se" og at flytte rundt på de enkelte atomer og molekyler og derved kontrolleret danne nye nanostrukturer. Dette har ledt til et paradigmeskift i vores udforskning af nanokosmos, og vi er i dag i en situation, hvor vi i princippet kan opbygge nye materialer atom for atom og molekyle for molekyle, på samme måde som man sætter legoklodser sammen. Men vejen fra at kunne gøre dette i forskningslaboratorier til at kunne gøre det i storskala i en industriel produktion er stadig belagt med en række store udfordringer. Kan vi tackle dem, tegner der sig til gengæld en lang række meget perspektivrige muligheder for, at nanoteknologi kan bidrage til øget vækst og velfærd, og til at vi kan løse nogle af samfundets store udfordringer inden for sundhed, energi og miljø.

Det nanoteknologiske område befinder sig på mange måder endnu på et tidligt og eksplorativt stadium, hvor en bred kommerciel anvendelse stadig ligger et stykke ude i fremtiden. Inden for kommunikations- og informationsteknologi er nanoteknologien



dog allerede i dag blevet en realitet, blandt andet i form af de integrerede kredse, der indgår i vore computere og kommunikationsudstyr.

Nanoteknologien vil kunne give nye løsninger på store samfundsmæssige udfordringer:

- > Nanoteknologi kan bidrage til udvikling af helt nye effektive katalysatorer og bæredygtige løsninger inden for energikonvertering, forureningsbekæmpelse og bedre overvågning og sikring af miljøet generelt.
- > Inden for sundhed og sygdomsbekæmpelse bliver det muligt at udvikle nye effektive behandlingsformer: hurtigere og mere præcise diagnoser, individuelt optimerede og målrettede lægemidler med færre bivirkninger doseret fra nanopartikler samt bedre, mere holdbare og sikre implantater.
- > Inden for elektronik og kommunikation vil nanoteknologi danne grundlag for stærkt forbedrede kommunikationsmuligheder og kvalitetsforbedring i forhold til vore omgivelser. Nanosensorer og kommunikationsenheder vil således komme til at indgå i stort set alt, hvad vi omgiver os med, og eksempelvis muliggøre bedre kontrol af de fødevarer vi køber, muliggøre bedre og mere behagelige fysiske og mentale omgivelser og meget andet.
- > Nanoteknologi vil give nye forbedrede og bæredygtige fremstillingsprocesser og materialer til fremtidens produkter. Mere funktionsdygtige og ressourceeffektive materialer, der er langt stærkere, mere fleksible og med bedre brugsegenskaber, kan opnås ved at skræddersy disse på nanoskalaniveau. Ved hjælp af nanoteknologi kan nye fremstillingsprocesser bidrage til lavere energiforbrug og mindre farligt affald.
- > Nanoteknologi vil medvirke til udvikling af bedre og mere miljøvenlige fødevarer, gennem en sikker og effektiv fødevarereproduktion med det formål at sikre forbrugerne en bedre kvalitet.

Nanoteknologi er et område i stærk vækst og har på en række områder store perspektiver som katalysator for en dynamisk erhvervsudvikling i Danmark. Eksisterende virksomheder kan opnå øget konkurrencekraft, og helt nye virksomheder og brancher kan opstå og bidrage til, at Danmark kan opretholde og forbedre sin økonomiske og teknologiske position i de kommende årtier.

Der kan imidlertid også være en risiko for både kendte og ukendte problemer af miljømæssig, sundhedsmæssig eller etisk karakter i forbindelse med anvendelsen af visse typer nanoteknologier – problemer, hvis omfang det er nødvendigt at klarlægge nøjere samt om nødvendigt kontrollere og modvirke.

I store lande som USA, Japan og Kina satses der årligt store milliardbeløb på meget brede dele af det nanoteknologiske område. Sådanne beløb kan vi ikke matche i Danmark, men vi bør ikke af denne grund lade de store muligheder gå os forbi. Vi skal satse målrettet og langsigtet på nøje udvalgte og særligt løfterige områder, hvor de danske erhvervs- og samfundsmæssige interesser er åbenbare, og hvor Danmark har særlige forskningsfaglige og industrimæssige forudsætninger og muligheder. Ambitionen er at bringe Danmark frem i international verdensklasse på udvalgte områder.

3. Nanoteknologisk forskning i Danmark



Generelt set står danske forskningsmiljøer internationalt stærkt på en række områder, der er centrale for nanoteknologi. Det gælder således niches inden for kvantefysik, biokemi, optoelektronik, skanning-probe-mikroskopi og røntgendiffraction/spektroskopi. De danske styrker vedrører især karakterisering – det vil sige beskrivelse – af naturens og fysikkens fænomener. I forhold til lande, som vi normalt sammenligner os med, ligger den danske videnskabelige produktion målt i publikationer i midterfeltet. På enkelte områder ligger dansk nanovidenskab helt i front.

En potentiel dansk styrke findes også i det forhold, at de store gennembrud i nanovidenskab og nanoteknologi forventes at ske på grænsefladerne mellem traditionelle videnskabelige områder. En dynamisk udvikling af nanoteknologien forudsætter derfor et samarbejde, der rækker fra områder som fysik, kemi og materialevidenskab til områder som biologi, molekylærbiologi og medicin. Dette nødvendiggør tværfagligt samarbejde og tænkning. Danmark har gode forudsætninger for tværfaglighed i forskningen, og der er allerede et veletableret samspil i mange eksisterende forskningsnetværk. Samtidig er Danmark et lille land med en flad social struktur, der betyder korte beslutningsveje og stor fleksibilitet, hvilket er en forudsætning for et stærkt innovativt miljø.

Danske universiteter har været tidligt på banen med uddannelser på nanoområdet, både på bachelor- og kandidatniveau. I Danmark som overalt i den vestlige verden har det igennem de seneste år været vanskeligt at få unge til at studere fysik, kemi, ingeniørvidenskaber og lignende, men flere universiteter har erfaret, at tværfaglige uddannelser under overskriften ”nano” har opnået stor søgning.

Styrker i dansk nanovidenskab

- > Internationalt anerkendte naturvidenskabelige forskningsmiljøer inden for blandt andet kvantefysik, biokemi, optoelektronik, skanning-probe-mikroskopi og røntgendiffraction
- > Gode forudsætninger for tværfaglighed i forskningen
- > Tidligt på banen med nanouddannelser
- > Internationalisering af forskningen
- > Nye fremstillingsfaciliteter

Svagheder i dansk nanovidenskab

- > Mindre tradition for syntese og teknologiudvikling
- > Universiteterne har ringe tradition for kommerialisering af forskningsresultater og håndtering af patenter og anden IPR
- > Ringe tradition for iværksætteri
- > Mangel på personer, der kan kombinere forskning og købmandskab
- > Ikke tradition for at lave store fokuserede satsninger
- > Begrænset mobilitet mellem danske forskningsinstitutioner og mellem forskningsverdenen og erhvervslivet

Ligeledes har universiteterne tidligt etableret forskerskoler inden for nanovidenskab. Disse tiltrækker endvidere unge fra andre dele af verden, og det styrker internationaliseringen af de danske forsknings- og uddannelsesinstitutioner.



Dette understøtter endnu en dansk styrke. Nemlig at dansk forskning er meget international. Danske forskningsinstitutioner og virksomheder deltager i stor udstrækning i internationale netværk – specielt europæiske netværk, og der er en betydelig udveksling af yngre forskere mellem Danmark og udlandet.

Endelig er der i Danmark over de seneste år investeret betydelige ressourcer i fremstillingsfaciliteter og rentrum både i offentligt og privat regi. Disse vil i de kommende år stå klar til at blive udnyttet af forskning og erhvervsliv i en nanoteknologisk satsning.

Det ses som en svaghed, at forskningskulturen ved danske universiteter i international sammenligning ikke er specielt erhvervsorienteret, hvilket blandt andet kan tilskrives adskillelsen af ingeniørvidenskab og naturvidenskabelig grundforskning i Danmark. Som nævnt har dansk nanovidenskab haft særligt fokus på beskrivende karakterisering af naturens fænomener, herunder nanostrukturer, mens der traditionelt har været langt mindre fokus på syntese – altså at omsætte den opnåede forståelse af naturens fænomener til at danne nye materialer og nye industrielle produkter. Dette forhold har også hæmmet grundlaget for et stærkt, produktivt samspil med erhvervsvirksomheder. Der er dog en begyndende tradition for kommercialisering af forskningsresultater og håndtering af patenter og anden IPR i den danske universitetsverden.

Hertil kommer, at det danske innovationssystem ofte mangler den kultur og de personer, som i andre lande løfter forskningen ud af universiteterne og over i erhvervslivet. Det kræver købmands- og ledelsesmæssige kompetencer, som danske forskere og forskningsinstitutioner ikke i almindelighed besidder.

Endelig er det karakteristisk, at vi i Danmark har vanskeligt ved at foretage store, fokuserede satsninger. Det er måske særlig vanskeligt at foretage prioriteringer mellem områder, således at nogle områder opprioriteres og andre nedprioriteres. Den udprægede danske konsensuskultur og det til tider mangelfulde videngrundlag for at træffe begrundede forsknings- og teknologipolitiske valg bevirker, at der ofte bliver investeret ”lidt til alle”. Der er ikke dansk tradition for ”picking-the-winners” eller at satse på det elitære.

Etableringen af MIC (Mikroelektronik Centret, nu Institut for Mikro- og Nanoteknologi) ved DTU er en undtagelse, hvor man i en koncentreret dansk satsning etablerede rentrum og synteselaboratorier til produktion af optiske og mikromekaniske komponenter. MIC har haft en stor innovationsmæssig effekt i form af mange nystartede virksomheder og mange afgørende nyudviklinger i større etablerede virksomheder.

Tilsvarende har Danmarks Grundforskningsfond været en elitær nyskabelse i det danske forskningsmæssige bevillingssystem og har gennem etablering af større elitære forskningscentre medvirket til at bringe flere danske grupper, også inden for nanoområdet, op i den internationale superliga. Skal der fremover også opnås en større innovationseffekt af sådanne elitære satsninger, skal disse i højere grad være fokuseret mod teknologi og anvendelser.

Blandt yngre forskere er der en betydelig udveksling mellem Danmark og udlandet, mens der kun eksisterer en beskedent mobilitet blandt de lidt mere etablerede forskere, og sammenlignet med udlandet er der i Danmark en ringe mobilitet af forskere mellem danske forskningsinstitutioner og erhvervslivet.

Der er fortsat lang vej til en bred industriel anvendelse af nanoteknologi. Vi befinder os nu i en situation, hvor vi har viden, teknikker og instrumenter til i princippet at kunne opbygge helt nye materialer atom for atom og molekyle for molekyle. Vejen fra at kunne gøre dette i laboratorier til at kunne gøre det i storskala i en industriel produktion er lang og belagt med en række store udfordringer.

En lang række danske virksomheder har allerede i dag aktiviteter eller interesser inden for nanoteknologi, og disse har selvfølgelig specielle forudsætninger for at udnytte nanoteknologi.

Eksempler på danske virksomheder med aktiviteter inden for eller interesse i nanoteknologi:

- > Aalborg Portland A/S
 - > Aarhus United A/S
 - > Alight Technologies A/S
 - > Arla Foods Amba
 - > Atomistix A/S
 - > Borean Pharma A/S
 - > Cantion A/S
 - > Capres A/S
 - > Carlsberg A/S
 - > CemeCon Scandinavia A/S
 - > Chempilots A/S
 - > Coloplast A/S
 - > Crystal Fibre A/S
 - > Danfoss A/S
 - > Danfysik A/S
 - > Danisco A/S
 - > Dansk Landbrugsrådgivning
 - > DME – Danish Micro Engineering A/S
 - > Giantcode A/S
 - > Grundfos A/S
 - > Grundfos Management A/S
 - > Haldor Topsøe A/S
 - > Hymite A/S
 - > Ibsen Photonics A/S
 - > Intel Copenhagen Aps
 - > IRD Fuel Cells A/S
 - > JJ X-Ray Aps
 - > Koheras A/S
 - > Lego A/S
 - > LiPlasome Pharma A/S
 - > Lucent Technologies A/S
 - > Lundbeck A/S
 - > MicMacMo Aps
 - > Microbotic A/S
 - > Micro Managed Photons A/S
 - > Nanon A/S (tidligere Adsphere)
 - > NanoNord A/S
 - > NKT Integration A/S
 - > NKT Research & Innovation A/S
 - > Novo Nordisk A/S
 - > Novozymes A/S
 - > NUNC A/S
 - > Optical Verification Components (OVC) ApS
 - > Radiometer Medical Aps
 - > Scandinavian Micro Biodevices Aps (SMB)
 - > SCF Technologies A/S
 - > Sensor Technology Center A/S
 - > Sophion Bioscience A/S
 - > Sonion Lyngby A/S
 - > T-cellic A/S
 - > Topsil A/S
 - > Unisense A/S
 - > VersaMatrix A/S
- Samt mange flere.

Store virksomheder, der er internationalt førende inden for deres brancher, arbejder allerede i dag med nanoteknologi eller nært beslægtede teknologier. Det gælder brancher som fødevaringredienser, måleapparater og anden instrumentering, katalyse, medicin, medicoteknologi samt den avancerede maskin- og elektronikindustri. En del af disse virksomheder bidrager allerede i dag i betydeligt omfang til dansk nanoteknologisk forskning.



Herudover er der en række små virksomheder inden for måleinstrumenter og lignende, der i særlig grad kan udnytte mulighederne inden for nanosensorer, nanoelektronik og nanobioteknologi.

Nanoteknologi vil inden for de kommende år også få innovationseffekt gennem integrering i eksisterende virksomheders produkter. Introduktionen af nanoteknologi vil være en videreudvikling både af eksisterende måder at arbejde på og af de eksisterende produkters egenskaber. Mange virksomheder (store, mellemstore og små) vil i løbet af nogle få år kunne få nanoteknologiske komponenter fra leverandører. Det kræver, at de udvikler kompetencer, der sikrer, at de dels kan bruge disse nye komponenter, og dels kan indgå i samspil med leverandører om design og udvikling af komponenter og grundmaterialer, der kan opfylde den enkelte virksomheds specifikke behov. For andre virksomheder behøves ingen særlige nye kompetencer for at bruge komponenter og materialer, hvori egenskaber fra nye nanomaterialer er integreret.

Man kan med en vis ret hævde, at nanoteknologien i dag er på samme udviklingsmæssige niveau, som bioteknologien var for cirka 20 år siden. Nanobioområdet har derfor god mulighed for at udnytte den position, som dansk bioteknologi har fået. Der er omkring bioteknologi etableret et internationalt konkurrencedygtigt, højteknologisk miljø, som tiltrækker udenlandske virksomheder og venturekapital. Samtidig er der inden for området udviklet betydelige ledelsesmæssige ressourcer og kompetencer. Dette vil kunne udnyttes og overføres til nye nanoteknologiske virksomheder. Tilsvarende er der inden for fotonik-området ledelsesmæssige og teknologiske kompetencer, der vil kunne danne grobund for opstart af nye nanoteknologiske virksomheder.

Danmark står som nævnt ikke alene med en satsning på nanoteknologi. De fleste industrialiserede lande har foretaget betydelige investeringer i nanoteknologisk forskning i de senere år. Det gælder også lande i Asien (med Kina i spidsen). Fortsætter den hidtidige udvikling, vil Kina om få år overhale USA som verdens mest betydelige nation inden for nanoteknologisk og nanovidenskabelig forskning. Kombineret med en generel industriel konkurrencedygtighed i de asiatiske økonomier kan det betyde, at virksomheder i denne region udvikler sig til at være danske virksomheders mest betydende konkurrenter, men også de potentielt vigtigste samarbejdspartnere. Nanoteknologien giver således ikke alene nye teknologiske muligheder for dansk erhvervsliv. Den giver formodentligt også nye konkurrencemæssige vilkår.

5. De fremtidige videnskabelige, teknologiske og erhvervsmæssige perspektiver af nanoteknologi



Nanoteknologi og nanovidenskab er meget brede områder, og det er som tidligere nævnt hensigten med denne handlingsplan at udpege og begrunde danske indsatsområder og perspektiver for de kommende års forsknings-, uddannelses- og innovationspolitik på området.

I forbindelse med gennemførelsen af fremsynet er der – med udgangspunkt i tre ekspertnotater om nanobiosystemer, nanoelektronik og -fotonik samt nanomaterialer – udarbejdet en lang emneliste af interessante og vigtige områder inden for nanovidenskab og nanoteknologi. Med henblik på at udpege indsatsområder for en koncentreret dansk satsning på nanoteknologi og -videnskab kan en lang række prioriteringskriterier overvejes. Styregruppen har valgt følgende tre kriterier som de væsentligste:

- > *Industriel og samfundsmæssig relevans.* Indsatsområderne må være relevante for danske virksomheder og samfundet i øvrigt. Her tænkes både på eksisterende virksomheder og på kim til fremtidens virksomheder.
- > *Forskningsmæssige styrker og/eller potentialer.* Særligt prioriterede indsatsområder må forudsætte helst eksisterende – eller om nødvendigt mulighed for og vilje til at opbygge – videnskabelig og teknologisk excellence i Danmark og samtidig et stort potentiale for fortsat videnskabelig udvikling koblet med en teknologisk udvikling. Der skal skabes kritisk masse og gode rammer for den form for tværvideenskabeligt arbejde, som også kommercialisering af nanoteknologi kræver.
- > *Global industriel, forskningsmæssig eller samfundsmæssig betydning.* Der kan være områder, der ikke tidligere har været dyrket af dansk forskning eller dansk industri, men som vurderes i fremtiden at få så stor strategisk betydning, industrielt, forsknings- og samfundsmæssigt, fordi markedet får et enormt globalt volumen, og teknologiområdet på sigt kan true eller fortrænge kendte teknologiplatforme, at området alligevel må opprioriteres.

Ud fra disse overvejelser peger styregruppen på syv særligt prioriterede teknologiområder, hvor danske muligheder for teknologiudvikling, industriel anvendelse og samfundsmæssige fordele står centralt.

Særligt prioriterede teknologiområder i ikke prioriteret rækkefølge

- > Nanomedicin og drug delivery
- > Biokompatible materialer
- > Nanosensorer og nanofluidik
- > Plastelektronik
- > Nanooptik og nanofotonik
- > Nanokatalyse, brintteknologi med mere
- > Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber

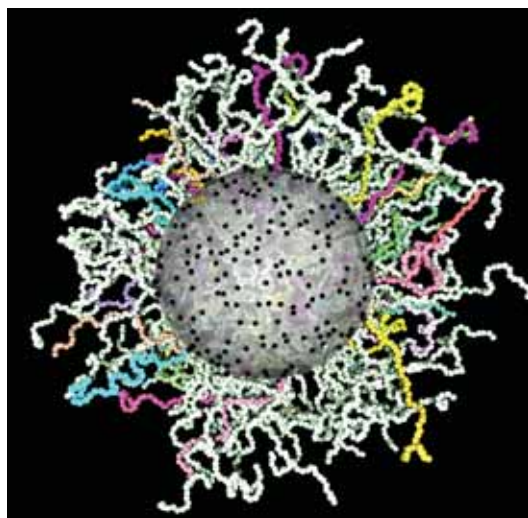
Herudover er der naturligvis en lang række andre nanoteknologiske områder, som også byder på langsigtede, spændende muligheder. Disse kan berettige mindre satsninger vurderet ud fra dels tilgængeligheden af stærke forskningsmiljøer inden for området,

og dels de kommercielle perspektiver, som området byder på. Eksempler på sådanne områder er: Selvorganiserende systemer, halvlederkvantepunkter, molekylær-elektronik, nanorør- og nanofibre, spintronic, magnetiske nanomaterialer, termoelektriske materialer samt mange flere. For en mere fyldig oversigt og beskrivelse af områderne henvises til de ekspertnotater og workshopreferater, der er vedlagt denne handlingsplan på en cd-rom.

I det følgende er de syv prioriterede teknologiområder og baggrunden for deres prioritering beskrevet.

A. Nanomedicin og drug delivery

Biomolekyler i form af peptider, proteiner, polysaccharider og oligonukleotider – korte DNA- eller RNA-strengte – er biologisk aktive forbindelser, som spås en stor fremtid som lægemidler. Størrelsen af disse molekyler gør imidlertid, at ”delivery” problematikken er vanskeligere end for traditionelle småmolekyle-lægemidler. Ved hjælp af nanoskala-interaktioner og -strukturansamlinger er det muligt at selvsamle de biologisk aktive molekyler i små nanokapsler – såkaldt nanomedicin. En typisk nanorelateret strategi er at indpakke medicinen i kapsler af fedtsyrer, såkaldte liposomer, eller af funktionaliserede polymerer, der designes kemisk med henblik på cellespecifik genkendelse, forbedret optag i cellen, kontrolleret frigivelse af den aktive komponent og sløring af partiklen over for kroppens immunforsvar (stealth partikler).



Illustrationen viser en nanopartikel (blok-copolymer-micelle), der er i stand til at transportere et medicinalstof derhen i kroppen, hvor det skal virke, uden at kroppens immunforsvar når at nedbryde det aktive stof.

(Kilde: iNANO, AU).

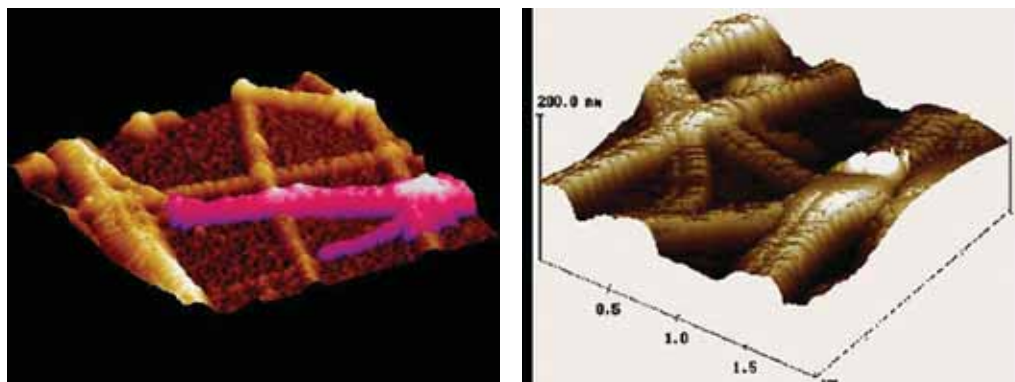
En fokuseret indsats vil kunne baseres på en række danske forskningsmiljøer af høj international kvalitet. Der er en betydelig dansk farmaceutisk industri i form af både store internationale virksomheder og en underskov af mindre virksomheder, blandt andet opstartsvirksomheder. Nanomedicin-området – og de nedenfor nævnte medico-anvendelser af biokompatible materialer – har endvidere gode muligheder for at trække på de bioteknologiske forsknings- og erhvervsmiljøer i Danmark og i Øresundsregionen. Der tegner sig markedsmæssige muligheder for branchen på både kort og mellemlang sigt.

B. Biokompatible materialer

Der er meget store videnskabelige og anvendelsesmæssige muligheder i en bedre forståelse af vekselvirkningen mellem levende væv og levende organismer og syntetiske materialer. Der er flere anerkendte forskningsmiljøer i Danmark inden for området, og der er et meget stort potentiale for innovation både på kort og langt sigt.

Ved hjælp af nanoteknologi kan der fremstilles overflader, der enten tiltrækker eller afviser bestemte molekyler eller celler. Derved kan syntetiske materialer og levende væv sammensættes på en til formålet hensigtsmæssig måde. Dette giver en række nye muligheder for udvikling af eksempelvis bedre transplantationsteknologi, bedre implantater og bedre kirurgiske instrumenter.

Et nærliggende område, hvor nanoteknologi også kan få stor betydning, er fremstilling af biomembraner, hvis transport- og overfladeegenskaber er kontrolleret på molekylært niveau. Beherskelse af en sådan kompetence er blandt andet vigtig for en række industrielle produkter, for eksempel biosensorer og forbedrede blodgasmålere. Et andet eksempel på en fremtidig vision med integration af forskellige elementer af nanobioteknologi, herunder biokompatibilitet, er reparation af defekte nervebaner ved anvendelse af elektrisk ledende nanostrukturer.



Venstre side: AFM (Atomic force mikroskop)-billede af en celleudvækst (rød) på naturligt kollagen (for eksempel i bindevæv eller i knogle).

Højre side: AFM-billede af en plastafstøbning af kollagen. Plastafstøbningen benyttes til celledyrkningsforsøg for at teste afstøbningens mulige brug som implantat.

(Kilde: Afd. For Polymerer, Forskningscenter Risø).

Inden for disse områder er der betydelige muligheder for nye produkter, og den danske sundheds- og medicoindustri har kapacitet til at opfange og udnytte den type innovation. Det gælder både større, etablerede virksomheder og forskningsbaserede opstartsvirksomheder.

Et andet industrirelateret område er antifouling, hvor nanodesignede overflader kan fremme eller hæmme vedhæftning af for eksempel bakterier eller alger. Det område har stor relevans inden for meget forskellige områder som eksempelvis fødevarerproduktion, kosmetik, skibsfart, vandforsyningssystemer og vindmølle drift. Der er allerede mange aktiviteter i gang, og yderligere udvikling forventes.

C. Nanosensorer og nanofluidik

Sensorer med funktionaliserede overflader på nanoskala-niveau forventes at få stor betydning for vor evne til præcist, hurtigt og billigt at måle mange fysiske, kemiske og biokemiske signaler. Ved at kombinere integreret elektronik (CMOS chips) med nanosensorer vil meget effektive, distribuerede sensorsystemer kunne fremstilles, der trådløst leverer den målte information. Sådanne sensorsystemer vil på afgørende måde kunne forbedre miljøovervågningen, forbedre industrielle processer, forbedre indeklimakontrol og reducere energiforbrug i hjemmet og på arbejdspladser samt øge sikkerheden i trafikken. De vil kunne benyttes til at spore sprængstoffer, narkotika og andre smuglervarer og dermed anvendes i for eksempel kriminalitets- og terrorbekæmpelse.

Naturens egne proteiner og nukleinsyrer er gennem evolutionen optimeret til at binde og genkende specifikke molekyler. Ved at koble denne binding til et målbart signal, som for eksempel lys, elektricitet eller magnetisme, kan man opnå en ultimativ sensitivitet på blot ét enkelt molekyle. Sådanne nanobiosensorer vil kunne anvendes lige fra medicinske applikationer i kroppen til måling af specifikke stoffer i industrielle sammenhænge og i forbindelse med miljøovervågning, eller til kontrol af fødevarer, hvor nanosensoren vil advare forbrugeren om tilstedeværelse af eventuelle forureninger med bakterier eller giftstoffer.

Ved at kombinere nanosensorer med nanofluide væskehåndteringssystemer kan "Lab-on-a-chip-systemer" realiseres. Ofte vil det også være nødvendigt at integrere nano-optik i sådanne systemer. Ved hjælp af "Lab-on-a-chip systemer" kan kemiske og biokemiske analyser og synteser gennemføres hurtigere, bedre og billigere end i konventionelle systemer, hvilket blandt andet er vigtigt for point-of-care diagnostik og for hurtig og effektiv udvikling af nye lægemidler.



En nanomekanisk sensor integreret på en elektronik chip. Sensoren kan måle massen af molekyler og kan måle helt ned til 1 ag (10⁻¹⁸ g).

(Kilde: MIC – Institut for Mikro- og Nanoteknologi, DTU).

I Danmark er der opbygget et stærkt forskningsmiljø inden for teknologier til fremstilling af komponenter – både sensorer og optiske strukturer – på nanoskalaniveau. Nanosensorer har et stort forretningsmæssigt udviklingspotentiale i dansk regi. Et betydeligt antal danske virksomheder baserer allerede deres forretning på måleinstrumenter og de dertil hørende sensorer. Medicinalvirksomhedernes udvikling er afhængig af nye effektive måleteknikker. Flere større industrivirksomheder har store projekter og forretninger, hvori egne mikrosensorer allerede indgår. Nanosensorer har således potentiale både på kort og mellemlang sigt.

D. Plastelektronik

Tyndfilmfelteffekttransistorer fremstillet af plastmateriale (polymermateriale) er en spændende ny udvikling, som åbner nye markedsmuligheder, idet fremstillingsprisen bliver meget lavere end for tilsvarende siliciumbaserede komponenter. Lysdioder af plast er en anden vigtig teknologisk udvikling. Lyskilderne er karakteriseret ved høj effektivitet, lysudsendelse i en stor rumvinkel, mulighed for integration af flere farver og potentiel meget lav pris.

Radiofrekvens-identifikations-mærker baseret på plastbaserede felteffekttransistorer er allerede på vej til markedet, hvor de vil give store fordele inden for logistik.

Plastelektronikken kan uden videre opbygges på fleksible underlag og kan derfor sammenbygges med eller klistres på almindelig emballage, eksempelvis fødevarerindpakning, hvilket vil gøre det muligt at overvåge varers generelle tilstand og historie under transport og i køledisken.

Flerfarvede plastdisplays forventes at erstatte flydende krystaldisplays i mange anvendelser. Plastdisplays kan gøres så lysstærke, at de kan benyttes selv i direkte sollys. Da den slags displays kan integreres med polymerfelteffekttransistorer, kan komplette, kompakte, fleksible og lette displaysystemer fremstilles til meget lave priser. Dette giver et meget stort antal anvendelsesmuligheder fra informationsteknologi og underholdning, over udsmykning og generel belysning, til anvendelser i legetøj.



Transistorer af plast er væsentlig billigere at fremstille end traditionelle siliciumtransistorer og spås en stor fremtid. Billedet viser en fleksibel plastfolie med cirka 50 integrerede kredse.

(Kilde: Philips©)

Danmark har ikke en stærk forskningstradition inden for dette område, og der er i dag ingen oplagte danske producenter af sådanne materialer. Imidlertid vurderes området at have så stor erhvervs- og samfundsmæssig betydning, at det anbefales, at der sker en forskningsmæssig oprustning inden for området. I første omgang skal der skabes et forskningsmæssigt fundament for udvikling af materialer og komponenter inden for området, og først når dette er sket, anbefales det at gennemføre en mere markant satsning.

E. Nanooptik og nanofotonik

Introduktion af finstrukturer på nanoskala – både i optisk aktive og optisk passive materialer – resulterer i en ny klasse af optiske komponenter, hvor lysets udbredelse kan kontrolleres meget præcist i forhold til konventionelle strukturer. Eksempelvis kan man frembringe komponenter, som har en meget høj grad af effektivitet og ulinearitet med helt nye og effektive lyskilder eller ekstremt hurtige komponenter til følge. Nærmest helt modsat kan man også med nanostrukturer frembringe optiske komponenter og fibre, hvor lysudbredelsen sker i hulrum og dermed i et næsten tabsfrit medie, hvilket blandt andet vil muliggøre optisk kommunikation uden forstærkning over ekstremt lange afstande eller meget følsomme optiske gas- eller væskesensorer.

Udviklingen af nanofinstrukturer er længst fremme inden for optiske fibre, hvor Danmark har en absolut førende position inden for både forskning og erhvervsmæssig udnyttelse. Der er mange anvendelsesmuligheder for sådanne fibre. Nanostrukturerede fibre vil eksempelvis finde anvendelse ved fremstilling af højeffektlasere til svejsning og anden materialebearbejdning, til mærkning og som lyskilder til digitale storskærme (fremtidens biografer) samt anvendelse inden for langdistance- og højhastigheds-kommunikation. Mere eksotisk åbnes der for effektiv transmission af både meget kort- og langbølget lys – for eksempel til litografiske formål og til materialebearbejdning.



Nanoteknologi benyttes til at realisere fremtidens højhastigheds-internet baseret på integrerede optiske chips. Fremstillingen sker i renrumfaciliteter, som DTUs Danchip-facilitet.

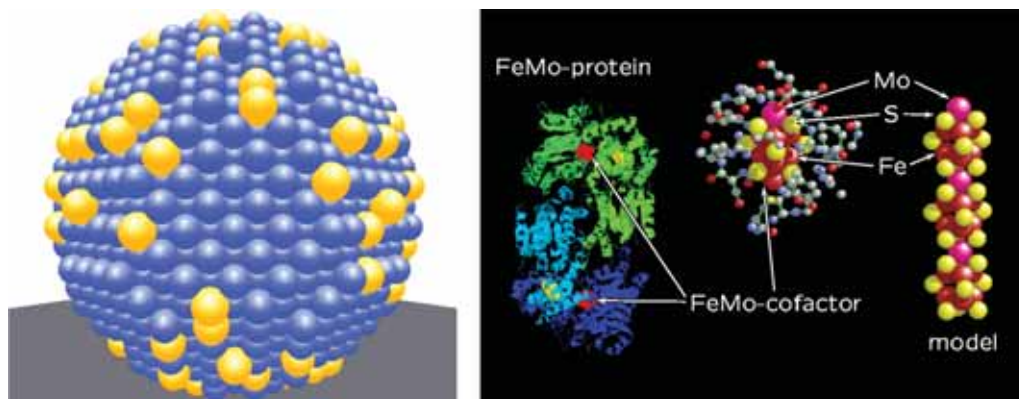
(Kilde: DTUs grøn bog om nanoteknologi, DTU).

Den danske forskningsindsats på planare fotoniske nanostrukturer er også på et højt internationalt niveau. Med planare nanostrukturer muliggøres meget kompakte fotoniske kredsløb og dermed små og billige komponenter. Dette er blandt andet vigtigt for udviklingen af fiber-to-the-home, det vil sige højhastighedstransmission hjem til den enkelte bruger. Også her er Danmark blandt de industrielt førende lande. De første nanostrukturerede fotoniske kredsløb er under udvikling, og teknologien ventes at slå igennem på markedet inden for en 5-årig tidshorisont.

F. Katalyse og brintteknologi med mere

Katalysatorerne og de katalytiske processer gennemgår en konstant, løbende forbedring for dels at undgå forurenende biprodukter, og dels at nedsætte energiforbruget. Indtil for få år siden blev udvikling af nye katalysatorer samt forbedringer af de eksisterende baseret på intuitive teknikker, men i dag har nye eksperimentelle og teoretiske metoder revolutioneret dette område, og rationel nanoskala-design af katalysatorer foregår nu på basis af en atomar forståelse og beskrivelse af de strukturelle og kemiske forhold. Nanoporøse materialer er stoffer med porer eller huller med en diameter, som er mindre end 100 nm. Nanoporøse materialer har den egenskab, at de tillader molekyler af en vis størrelse og form at passere gennem materialets porer, mens andre, større molekyler eller molekyler med en anden form ikke kan passere. Den petrokemiske industri har anvendt naturligt forekommende nanoporøse materialer, zeolitter, som katalysatorer i årtier. De seneste år har disse zeolitter dog fortrinsvist været fremstillet syntetisk. Akkurat som for katalysatorer har de senere års forbedrede muligheder for at ”se” og manipulere på nanoskala medført, at der er sket et skift fra et opportunistisk til et rationelt design af disse materialer.

Naturen har udviklet sit eget sæt af katalysatorer, enzymer, som generelt er mere effektive end menneskeskabte katalysatorer. Dette princip anvendes inden for biokatalyse, hvor biomolekyler bruges som nanoteknologiske byggesten til skræddersyning og optimering af syntetiske receptorer og katalysatorer.



Nanopartiklerne i en katalysator skal designes atom for atom for at få de ønskede egenskaber. Her kan man med fordel hente inspiration fra naturens egne katalysatorer, enzymerne.

(Kilde: DTUs grønbog om nanoteknologi, DTU).

Katalyse vil spille en afgørende rolle, når kravene til udvikling af nye miljøteknologier og teknologier inden for energisektoren skal imødekommes. Der er betydelig international interesse for at anvende brint som energibærer i fremtidens energisystemer. Brintproduktionen kan baseres på naturgas, vedvarende energi eller andre energikilder. Brændselsceller kan omsætte brint (eller naturgas) til varme og elektricitet, og brændselscellesystemer kan erstatte motoren i biler eller anvendes til små og store kraftvarmehenheder. Den aktive del af en brændselscelle er nanopartikler, som katalyserer omdannelsen af brint og ilt. Også løsning af en række af verdens miljøproblemer afhænger af udvikling af nye katalysatorer og katalytiske processer. Rent vand, mindskelse af CO₂-udslip vil kræve udvikling af nye, mere effektive katalysatorer. Katalyse er i det hele taget et område af allerstørste betydning for det

moderne samfund, idet praktisk taget alle kemiske stoffer, som bruges i industrien i dag, produceres ved hjælp af katalytiske processer.

Forsknings- og erhvervmæssigt er den danske indsats inden for katalyse på højt internationalt niveau. Mulighederne er dog langt fra udtømte, og det må forventes, at nanoporøse materialer til separation og analyse med nye og bedre egenskaber vil komme på markedet inden for de næste 5-10 år. De forskningsmæssige udfordringer, der skal løses i forhold til katalytiske processer, har også anvendelsesperspektiver i andre sammenhænge. Det gælder eksempelvis nye overfladeegenskaber og udvikling af nye materialer. Det er vigtigt, at en satsning inden for området i høj grad også tager sigte på at udvikle og udnytte den opbyggede forskningskompetence i sådanne andre anvendelsesområder.

G. Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber

Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber er et meget bredt område, som dækker en lang række forskellige materialeteknologier. Ikke desto mindre anbefales det at koncentrere en indsats inden for områderne i én fælles satsning, idet der vil være betydelige teknologiske synergieffekter mellem de forskellige teknologier.

Nanokrystallinske materialer repræsenterer overgangen mellem molekyler og faste stoffer. Som følge af de meget små kornstørrelser er en stor volumenandel af atomerne placeret i korngrænserne. Dette er en af de væsentligste grunde til, at nanokrystallinske materialer har helt unikke egenskaber. For at opnå termisk mere stabile materialer anvendes ofte to-fase-materialer, krystallinske nanokompositter. Sådanne materialer kan for eksempel udvise samme hårdhed som diamant. Der er mange mulige anvendelser af disse nanokrystallinske materialer til højværdig produkter – fra mikro- til makroskala og fra implantater i mennesker og dyr til sportsudstyr.

Nanofibre og kompositter udgør et andet spændende materialeområde. Ved at anvende tilsætningsmateriale i nanostørrelse kan de makroskopiske egenskaber af et kompositmateriale ændres – eksempelvis beton med stærkt forbedrede styrke/vægt-forhold. Et andet eksempel er polymernanokompositter, der er stærkere, mere varmebestandige og har bedre kemisk resistens end de rene polymermaterialer. Disse nye materialer kan nemt ekstruderes eller støbes til den endelige form og samtidig have stivhed og styrke tæt på metaller, men med en reduceret vægt. Herved kan korrosionsbestandighed, lyddæmpning, emnekonsolidering og genanvendelighed forbedres. Anvendelsesmulighederne er igen meget betydelige. I danske virksomheder anvendes kompositter i dag, for eksempel i vindmøllevinger, fleksible rørledninger, skibe, med videre. Et andet eksempel er nye vævede eller ikke-vævede tekstiler fremstillet af polymerfibre med sigte på anvendelse i tekstil- og hygiejneindustrien, et område, hvor der eksisterer en betydelig dansk industri.

Overflademodifikation til opnåelse af nye komponentegenskaber via overfladebelægninger eller ved mekanisk eller kemisk modifikation af overflader er også et vigtigt forsknings- og industriområde. Eksempler på anvendelser er bestandighed og ”appeal” af brugsflader, slid- og korrosionsbestandige overflader til bevægelige dele i mekaniske og elektroniske komponenter o.m.a. Der findes i dag en lang række kommercielle fysiske og kemiske deponeringsteknikker, som kan bruges til at fremstille nye nanooverflader til en konkurrencedygtig pris. Nanoteknologi vil

frembringe nye typer overflader med indbyggede funktioner enten ved at indbygge en kemisk funktionalitet eller ved frembringelse af en nanostruktureret overflade.



Overflader kan vha. nanoteknologi designes til at have bestemte egenskaber. Billederne ovenfor illustrerer en anti-graffiti-belægning, der eksempelvis kan anvendes på togvogne, der ofte er udsat for hærværk i form af graffiti.

Polymerers funktionelle egenskaber kan bygges op ved at designe strukturen på nanoskala, for eksempel ved at sammensætte materialerne af forskellige domæner. Princippet er lånt fra biologien og gør det muligt at indbygge funktioner som antenner, der kan opfange lys, overføre energi, danne ladningsbærere, transportere ladninger, foretage molekylær genkendelse etc. i polymererne. Strategien åbner for et nyt område af meget store molekyler med kompleks struktur og intelligent funktion. Sådanne nye materialer har en række fordele som blandt andet elektroniske og optiske byggeblokke.

Nanoporøse materialer er svampelignende stoffer med porer eller huller med en diameter, som er mindre end 100 nm, og som har den egenskab, at de kun tillader molekyler af en vis størrelse og form at passere gennem materialets porer. Nanoporøse materialer kan fremstilles ud fra for eksempel kulstof, silica, keramik, mineraler eller metalorganiske forbindelser. For sidstnævnte metalorganiske materialer har man usædvanlig stor kontrol over poresystemet, idet de enkelte "byggeklodser" bevarer deres molekylære identitet i det færdige materiale. Dette har ført til syntese af nye nanomaterialer med en lang række spændende anvendelsesmuligheder, blandt andet gaslagringsmedier til et fremtidigt brintsamfund.

Nanonetværksforbindelser er nært beslægtede med nanoporøse materialer. Ved at inkorporere specifikke gæstemolekyler i materialernes åbne nanohulrum kan man modificere de fysiske egenskaber, og nogle af disse materialer udviser for eksempel særdeles lovende termoelektriske egenskaber. I dansk sammenhæng har køle- og pumpeindustrien stor interesse i udvikling af nye termoelektriske nanomaterialer.

De ledende danske forskningsmiljøer er i dag organisatorisk og fysisk spredte inden for disse teknologiområder. Da det vurderes, at der er betydelige synergieffekter mellem disse områder, anbefales det at samle disse aktiviteter i de foreslåede nanokraftcentre.

>

Nanoteknologi er en ”*emerging technology*”, der kan bane vej for en ny industriel revolution i lighed med indførelse af dampmaskinen, elektrificeringen eller computerteknologien. Kendte fremstillingsmetoder og teknologier kan blive overflødiggjort, og nye vil vinde frem. Nanoteknologien kan skabe teknologiske tigerspring og dermed redefinere kendte teknologiske platforme for mange virksomheder. Som andre revolutionerende teknologier skaber nanoteknologien derfor en såkaldt ”kreativ destruktion”. Den er ”kompetenceødelæggende”, idet den udfordrer evnen til værdiskabelse i etablerede viden- og teknologiplatforme, men åbner samtidig helt nye udviklingsmuligheder for eksisterende og ikke mindst nye virksomheder.

Emerging Technologies:

„science-based innovations that have the potential to create a new industry or transform an existing one“.

Day and Shoemaker, Wharton Business School on Emerging Technologies, Wharton Business School 2000.

En del danske virksomheder gennemfører som nævnt selv nanoforskning og -udvikling på højt niveau, men nanoteknologiens skabende og transformerende kraft udspringer i høj grad fra forsknings- og uddannelsessystemet: For det første, fordi mange forskningslaboratorier udvikler ny viden og interessante nanoteknologier og for det andet, fordi nanoteknologien generelt styrkes gennem en acceleration i antallet af eksperimenter, cirkulering af artikler, prototyper, udveksling af forskere, uddannelse af kandidater, ph.d.’er, med videre.

Innovationspotentialt ligger både i at tilføje nanoteknologi til eksisterende funktioner og i helt nye kombinationer af viden i de nye teknologifelter, der dukker op. I det sidste tilfælde betyder det, at der kræves en stor investering i markeds- og produktudvikling, før den kommercielle effekt opstår og kan realiseres.

Det er centralt, at en offentlig finansieret dansk satsning på nanoteknologi baseres på nyere forståelser af innovationsprocessers uforudsigelige karakter. Der er ingen automatisk sammenhæng mellem at være forskningsmæssigt i front og så kunne udvikle virksomheder og kompetencer, der kan hjemtage den kommercielle gevinst. Det kræver ofte en vis portion dristighed, held og accept af mislykkede forsøg at skabe succeser, og det sker ofte gennem processer, som sjældent er lineære og ”efter bogen”. Mulighederne for kommerciel succes styrkes dog, hvis forskningen knyttes til et frugtbart samspil mellem teknologisk innovation og forretningsudvikling, og hvis denne forskning har generisk karakter, det vil sige har flere forskellige applikationsmuligheder.

Organisatoriske rammer for forskningsbaseret innovation

Et vigtigt kendetegn ved nanoteknologi er, at den er tværvideenskabelig og udfordrer eksisterende faggrænser mellem fysik, kemi, materialevidenskab, molekylær biologi, biologi og medicin. Derved nedbrydes de traditionelle faggrænser. Mange nye nanovideenskabelige og nanoteknologiske kompetencer vil være tværvideenskabelige i deres karakter, indtil de får etableret deres egne nye fagområder. En effektiv udnyttelse

af nanoteknologien kræver derfor overblik og evne til let og ubesværet at arbejde på tværs af klassiske faggrænser og i nye vidennetværk. Det betyder, at større danske forsknings-, uddannelses- og innovationspolitiske satsninger på nanoteknologi må organiseres anderledes end for traditionelle forskningsdiscipliner.

Det vil være naturligt at samle forskellige kombinationer af beslægtede prioriterede indsatsområder i tværvideenskabelige nano-innovationshuse, i det følgende betegnet nanoteknologiske kraftcentre. Denne organisering omkring nanoteknologiske kraftcentre vil dels kunne føre til styrkelse af eksisterende erhvervsklynger, og dels kunne føre til dannelsen af nye eftertragtede ”klyngeeffekter”, idet der dannes nye dynamiske vidennetværk. Et eksempel på en sådan klyngeeffekt er grupperne af fotonik- og mikroteknologiske virksomheder, der er udsprunget fra MIC på DTU.

Fordi nanoteknologi er så tæt knyttet til forskningsmæssige gennembrud, vil man måske kunne hævde, at den lineære innovationsmodel ”fra-ren-akademisk-grundforskning-til-industriel-anvendelse” er tilbage og gyldig inden for det nanoteknologiske område (Bohr-idealet), jævnfør nedestående figur. Men det er helt centralt, at denne opfattelse ikke bliver lagt til grund for kraftcentrenes arbejdsformer. Der skal tages udgangspunkt i den form for dynamisk samspil mellem ”basal grundforskning” og ”anvendt og praktisk forskning”, som kan ses ud fra de idealer, som Pasteur (eller vore hjemlige Chr. Hansen og Haldor Topsøe) står for. I disse tilfælde var det praktiske problemstillinger, som satte en forskningsproces i gang, som både har givet grundvidenskabelige indsigter og innovation. Det er en helt anden form for ”anvendt forskning”, end det antages i den traditionelle lineære model, og det er vigtigt, at det er disse forståelser, der styrer udviklingen.

I motivationen for at bedrive forskning skelnes der ofte mellem på den ene side søgen efter grundlæggende forståelse af naturen og på den anden side hensynet til praktisk anvendelse af forskningen.

Forskningssociologen Stokes har peget på, at der ikke behøver at være nogen modsætning mellem disse to motivationer for forskning – eksemplificeret i Pasteurs forskning.

D. Stokes, Pasteur’s Quadrant – Basic Science and Technological Innovation, Brookings Institute, 1997.

		Hensyn til anvendelser	
		Nej	Ja
Søgen efter grundlæggende forståelse af naturen	Ja	Bohr	Pasteur
	Nej		Edison

Tværvideenskabelige nanoteknologiske kraftcentre kan danne rammen om sådanne videnskabelige samspil og netværksdannelser mellem offentlige forskningsmiljøer og virksomheder. Det er derfor vigtigt, at kraftcentrene er udstyret med avancerede og relevante instrumenter, som kan udnyttes af både offentlig forskning og virksomheder og dermed understøtte nye samspil og netværk.

Hertil kommer vigtigheden af at udvikle stærke koblinger til venture kapital og andre kapitalformidlere. Dette bygger på erfaringerne fra innovative miljøer i Silicon Valley, i den nordjyske mobiltelefoni og i vindmølleindustrien.

7. Risici, miljø og etiske aspekter ved anvendelse af nanoteknologi



Samtidig med nanoteknologiens forventede positive muligheder og effekter knytter der sig også betydelige usikkerheder og nye og delvist ukendte risici til nanoteknologien. Der er endnu meget få undersøgelser af mulige negative effekter af nanoteknologi. Men på grund af den store opmærksomhed for området er der en lang række undersøgelser på vej verden over.

Nanoteknologi er en generisk teknologi med nogle særlige karakteristika, der har betydning for miljø og sundhed:

- > Nanoteknologi er under udvikling med potentiale for teknologiske gennembrud i mange retninger, hvilket gør det nødvendigt at vurdere usikkerheder i forhold til forskellige udviklingsmuligheder
- > Nanoteknologi vil blive anvendt i mange brancher og produkter, hvilket bevirker, at materialer og produkter indeholdende nanopartikler eller nanomaterialer vil være allestedsnærværende
- > Nanomaterialer kan på grund af deres størrelser have andre toksikologiske egenskaber end andre kendte materialer.

En af de betydeligste miljørisici knytter sig til frie nanopartikler. Nanopartikler er typisk designet til at holde – det vil sige de nedbrydes ikke i naturen og kan akkumuleres i levende organismer afhængig af overfladeegenskaber med mere. Nanopartikler er meget små og kan være ekstremt mobile, for eksempel ved spredning med luft, og de kan let trænge gennem biologiske membraner. Nogle nanopartikler vil måske også kunne virke som bærere af tungmetaller og persistente kemikalier i luft, vand, jord og grundvand. Nanopartikler kan være vanskelige at detektere, hvilket kan betyde, at disse utilsigtet kommer ind i fødekæden.

*„Nanotechnology is set to be the next campaign focus for environmental groups“
Nature, Vol 424, 17 July 2003*

Nanopartikler og nanorør kan i visse sammenhænge sammenlignes med asbest og lignende menneskeskabte fibre. Ud fra eksisterende viden om skadelige helbredseffekter af fine og ultrafine partikler er der grund til at antage, at nanopartikler potentielt kan føre til negative helbredseffekter såsom hjerneskader, hjerte-kar-sygdomme, kræft og forstærket udvikling af allergi. Nanopartikler kan muligvis give bivirkninger ved optagelse og transport i kroppen til organer, kirtler med mere

I arbejdsmiljøet kan der være mulige problemer ved eksponering for nanopartikler både ved fremstilling og anvendelse. Også personale på miljøanlæg eller beskæftigede med målinger kan blive udsat for nye typer af sundhedsskadelige påvirkninger. Fremstilling af nanomaterialer kan indebære brug af tungmetaller som cadmium, opløsningsmidler og andre kemikalier med miljø- og sundhedsbelastende egenskaber.

Udvikling af nanosensorer og lignende kan give helt nye muligheder for overvågning og kontrol, som indebærer nye etiske overvejelser, for eksempel overvågningsudstyr i nanoskala, som kan indbygges alle vegne, men ikke ses med det blotte øje. Selvom en eventuel udvikling af selvorganiserende og selvlærende strukturer har en meget lang tidshorisont, rummer det så store konsekvenser, at det i givet fald kræver etiske overvejelser i god tid.

Det må noteres, at der blandt befolkningen som helhed formodentlig er stort ukendskab til nanoteknologi, dens muligheder og konsekvenser. Selvom det er vanskeligt at forholde sig entydigt til nanoteknologi, vurderes det, at der i offentligheden er et generelt positivt syn på nanoteknologi. Synspunktet synes at være, at Danmark skal være et foregangsland, ikke kun med hensyn til at udvikle og anvende nanoteknologi, men også med hensyn til at gå forrest med en sund kritisk indstilling med betydende forskning også i risici og etik.

Der er blandt borgerne ønske om, at nanoteknologien anvendes til formål, der gavner bredt under hensyntagen til mennesker og miljø. Her nævnes eksempelvis: Bekæmpelse af forurening, klimaforandringer, fattigdom i udviklingslande og sygdom.

Ansvar for mulige negative konsekvenser af nanoteknologi og den eksisterende lovgivning til håndtering heraf må være præcis og synlig. Det er vigtigt, at åbenlyst farlige anvendelser indstilles eller underlægges stramme regulerende toksikologiske rammer. Dette er meget vigtigt for at bevare tilliden til, at udbredt brug af nanoteknologi ikke får u hensigtsmæssige følger.

Styregruppen lægger vægt på, at eventuelle negative sider ved nanoteknologi nøje overvejes. Styregruppen understreger, at risikovurderinger bør være relative, det vil sige afveje fordele og ulemper sammenholdt med eksisterende produkter eller andre alternativer.

Styregruppen finder det meget vigtigt, at risikoelementet integreres i forskning og industriel udvikling. Det er i første omgang forskningsinstitutionernes og virksomheders ansvar, at vurderingen og håndteringen af nanoteknologiens risikoelementer sker på højt fagligt niveau i samarbejde med eksperter inden for miljø, sundhed og etik. Det er offentlige myndigheders ansvar, at lovgivning og regler tager højde for de nye teknologiske muligheder og konsekvenser. Det anbefales, at der som en integreret del af de enkelte projekter afsættes midler til forskning og kompetenceopbygning i nanoteknologiens miljømæssige, sundhedsmæssige og etiske problemstillinger, og at ansvaret herfor ligger hos de forskningsmiljøer, der modtager projektbevillingerne. Projekterne bør kun kunne opnå støtte såfremt de miljømæssige, sundhedsmæssige og etiske aspekter håndteres forsvarligt.

8. Forsknings-, uddannelses- og innovationspolitiske anbefalinger



Det er styregruppens vision, at Danmark frem mod år 2020 skal være blandt de absolut bedste lande i verden til – inden for udvalgte områder – at beherske og omsætte nanoteknologien til industriel anvendelse, øget vækst og beskæftigelse – og til løsninger af væsentlige samfundsmæssige behov.

Målene for den samfundsmæssige nytte knytter sig til energi og miljø, fødevarer, sygdomsbekæmpelse og generel industriel og velstandsmæssig udvikling. Det kræver en politisk målsætning om en stærk indsats inden for forskning i nanovidenskab og nanoteknologi og samtidig en højteknologisk udvikling i danske virksomheder, der sikrer, at virksomhederne har kompetence, medarbejdere og kapacitet til at omsætte de nye gennembrud inden for nanoteknologi i produkter og positionering på markedet. Den udvikling kan få et afgørende skub med en koordineret strategi for fremme af nanoteknologi. Videnskabsministeriet, Højteknologifonden, det forskningsrådgivende og -bevilgende system inklusive Danmarks Grundforskningsfond og Rådet for Teknologi og Innovation har et stort ansvar for at sikre denne koordination.

Målene inden for en 20-årig horisont for den politiske satsning på nanoteknologi bør være:

- > Nanoteknologi er bredt anvendt i danske virksomheder – store som små og i mange forskellige anvendelsesområder og brancher.
- > En underskov af nye små og mellemstore højteknologiske virksomheder baseret på nanoteknologi er vokset frem
- > Der er udviklet enkelte store virksomheder (af samme størrelse som Novo Nordisk, Danfoss, Grundfos og Vestas er i dag), hvis forretning baserer sig på nanoteknologi.

Nanoteknologi er karakteriseret ved stor forskelligartethed, både for så vidt angår hvad det er, og i hvilken tidshorisont, det vurderes at være interessant. Det betyder, at en koordineret strategi for nanoteknologi skal indeholde en bred vifte af initiativer, hvis visionen om at være blandt de absolut bedste lande i verden til at beherske og omsætte nanoteknologien til industriel og samfundsmæssig anvendelse skal realiseres.

Styregruppen har følgende anbefalinger til en nanoteknologisk handlingsplan:

1. Prioriter teknologiområder
2. Skab samspil mellem nanoteknologisk forskning og højteknologisk erhvervsudvikling
3. Etabler nanoteknologiske kraftcentre (innovationshuse)
4. Forøg produktionen af kandidater og forskere
5. Udbred nanoteknologi bredt til danske virksomheder
6. Inddrag risici, sundhed, miljø og etik.

1. Prioriter teknologiområder

Der skal satses på særlige teknologiområder, hvor danske virksomheder og forskningsmiljøer er i international front og har gode muligheder for at omsætte resultaterne af den nanoteknologiske og -videnskabelige forskning i praktiske



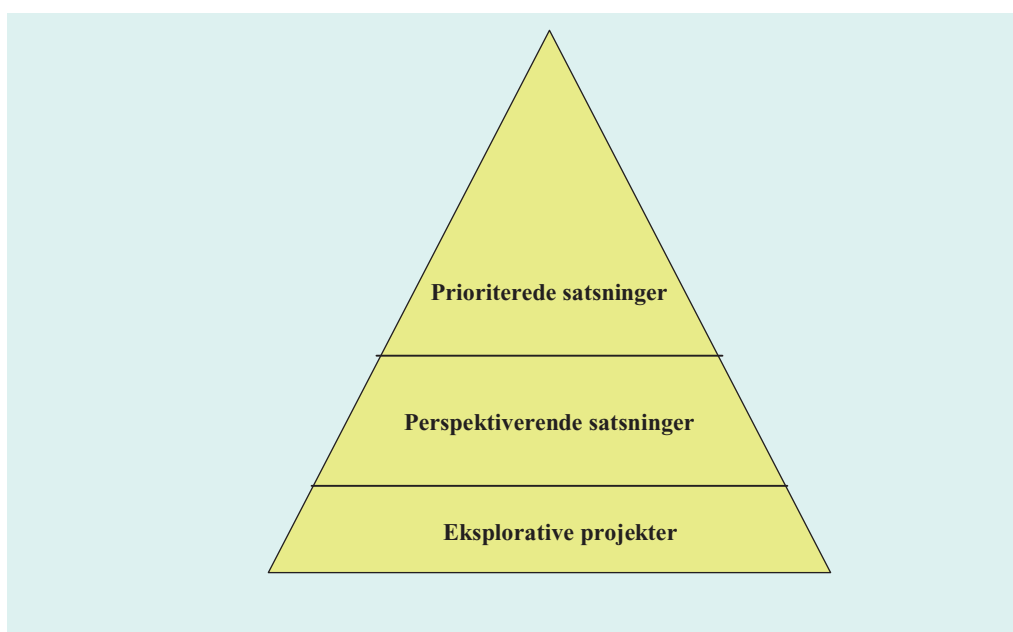
industrielle anvendelser. Styregruppen har ovenfor peget på syv særligt prioriterede teknologiområder, der hver især har mange og meget forskellige muligheder. Herudover er der en lang række områder, hvor mindre satsninger og projekter fortsat bør finansieres af blandt andre Det Frie Forskningsråd og forskningsinstitutionerne selv. Styregruppen finder det afgørende, at satsningerne inden for de særligt prioriterede områder ikke sker på bekostning af den frie forskning i nanovidenskab og nanoteknologi – hverken den der falder inden for eller uden for de syv prioriterede teknologiområder.

Særligt prioriterede teknologiområder i ikke prioriteret rækkefølge:

- > Nanomedicin og drug delivery
- > Biokompatible materialer
- > Nanosensorer og nanofluidik
- > Plastelektronik
- > Nanooptik og nanofotonik
- > Nanokatalyse, brintteknologi med mere
- > Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber.

2. Skab samspil mellem nanoteknologisk forskning og højteknologisk erhvervsudvikling

Styregruppen peger på tre initiativtyper for at styrke den nanoteknologiske og nanovidenskabelige forskning og den højteknologiske erhvervsudvikling i de kommende år. Initiativerne har varierende økonomisk og ressourcemæssig volumen afhængigt af forventningen til forskningens potentiale og tidshorizonten for et erhvervsmæssigt gennembrud.



Prioriterede satsninger

- > Prioriterede satsninger foreslås inden for de syv særligt prioriterede teknologiområder.
- > Satsningerne skal have tværvideenskabelig og tværteknologisk karakter, og de skal organiseres uden for de normale disciplinorienterede miljøer. Satsningerne skal samle forskellige forskningsdiscipliner i samme teknologiske satsning.
- > Satsningerne skal have teknologiudvikling og industriel anvendelse som mål. Det kan være i form af evolutionær eller revolutionær udvikling i eksisterende virksomheder eller i form af nye opstartsvirksomheder.
- > Satsningerne skal have generisk karakter, så de kan rette sig mod flere forskellige industrielle anvendelser.
- > Satsningerne skal være af størrelsesordenen 15-25 millioner kroner årligt over en 10-årig periode til egentlig drift. Herudover kommer nødvendige midler til de større udstyrsinvesteringer, der måtte være behov for. Styregruppen foreslår, at midlerne stilles til rådighed af Højteknologifonden eller af Det Strategiske Forskningsråd.
- > Styregruppen anbefaler, at tildelingen sker årligt på baggrund af de opnåede resultater. Afhængig af de viste resultater bør de årlige bevillinger justeres gradvist. Store justeringer skal ske med en 3-årig tidshorisont.
- > Kompetencer (danske såvel som udenlandske) fra udenlandske forskningsmiljøer skal om muligt tiltrækkes. Opmærksomheden bør her ikke alene være på europæiske og amerikanske miljøer, men også fjernøstlige.
- > Da postdocs ofte er en meget dynamisk og innovativ forskergruppe, bør der fokuseres på denne gruppe. For hver satsning anbefales derfor mindst fem postdocs. Virksomhedsopstart eller ansættelse i industrien skal være hovedmålet for disse efter gennemført postdoc-projekt.
- > De fleste prioriterede satsninger bør indebære fysisk samlokalisering af de personer, der indgår i satsningen – specielt hvor der er store udstyrsinvesteringer.
- > Kandidat- og ph.d.-uddannelser skal fylde meget, hvorfor satsningerne bør være centreret på universiteterne, men med mulighed for deltagelse af sektorforskningsinstitutioner. ErhvervsPhD-initiativet bør udgøre en væsentlig del af ph.d.-indsatsen.

Perspektiverende satsninger

- > De perspektiverende satsninger foreslås inden for områder med et lidt mere langsigtet potentiale.
- > Satsningerne skal have enten tværvideenskabelig eller tværteknologisk karakter, og de bør organiseres uden for de normale disciplinorienterede miljøer. Satsningerne kan samle forskellige forskningsdiscipliner i samme teknologiske satsning.
- > Styregruppen anbefaler, at satsningerne skal være af størrelsesordenen 5-15 millioner kroner årligt til drift over en 5-10-årig periode. Midlerne bør stilles til rådighed af Danmarks Grundforskningsfond eller Det Frie Forskningsråd, hvis det centrale udgangspunkt for investeringen er en kvalificeret person med en spændende visionær tilgang til området, og af Det Strategiske Forskningsråd hvis det teknologiske sigte er det centrale udgangspunkt for investeringen.
- > Hvis det Strategiske Forskningsråd stiller midler til rådighed, skal satsningerne have teknologiudvikling og industriel anvendelse som mål. Det kan være i form af evolutionær eller revolutionær udvikling i relation til eksisterende virksomheder eller i form af en mere revolutionær udvikling med sigte på nye opstartsvirksomheder. Hvis Danmarks Grundforskningsfond stiller midler til rådighed,

- bør satsningerne stadig have en applikationsmulighed som vision, og denne vil som oftest have revolutionær udviklingskarakter.
- > Styregruppen anbefaler, at satsningerne skal have generisk karakter, så de kan rette sig mod flere forskellige industrielle anvendelser.
 - > Eksisterede kompetencer (danske eller udenlandske) fra udenlandske forskningsmiljøer skal om muligt tiltrækkes. Det gælder også fjernøstlige.
 - > Der bør fokuseres på postdocs med henblik på virksomhedsopstart eller ansættelse i industrien efter postdoc-forløbet.
 - > Styregruppen anbefaler, at kandidat- og ph.d.-uddannelser skal fylde meget, hvorfor satsningerne bør være centreret på universiteter. ErhvervsPhD-initiativet bør udgøre en væsentlig del af ph.d.-indsatsen.

Eksplorative projekter

- > Eksplorative projekter iværksættes inden for nye spændende nanovidenskabelige områder, og hvor de mulige nanoteknologiske applikationer endnu ligger relativt langt ude i fremtiden.
- > Der bør kunne iværksættes eksplorative projekter både inden for de syv særligt prioriterede teknologiområder og inden for andre områder.
- > Eksplorative projekter kan iværksættes i tilfælde, hvor en yngre lovende forsker vil starte selvstændig karriere på det nye område, eller hvor en etableret forsker ønsker at skifte område.
- > Projektet kan også tilrettelægges som et innovationsprojekt, hvor forskeren – yngre eller etableret – alene eller sammen med kolleger – fra start sigter mod opstart af højteknologisk virksomhed.
- > Projektstørrelsen skal være 3-5 millioner kroner årligt over 2-3 år og dække løn, materialer, med videre.
- > Styregruppen anbefaler, at aktørerne i det forskningsrådgivende og -bevilgende system overvejer, hvordan der kan stilles midler til rådighed for denne type projekter, herunder om der for eksempel er behov for et nyt instrument under Rådet for Teknologi og Innovation eller Det Frie Forskningsråd.

3. Etabler nanoteknologiske kraftcentre (innovationshuse)

Den nationale investering i nanoteknologi og nanovidenskab bør ske i form af en koncentreret satsning, hvor der skabes virkelig internationalt slagkraftige enheder.

Styregruppen anbefaler, at der skabes to nationale nanoteknologiske kraftcentre, der har kritisk masse til at blive videnskabeligt og teknologisk førende internationalt på deres felt. Kraftcentre foreslås etableret med udgangspunkt i flere af de ovennævnte prioriterede satsninger og perspektiverende satsninger. Kraftcentre bør endvidere kunne huse en del af de eksplorative projekter.

Forskningsmiljøerne omkring kraftcentre skal – udover de almindelige europæiske ”STREP”-forskningsprojekter – kunne formulere og lede store europæiske projekter som for eksempel ”Integrated Projects” og ”Networks of Excellence”.

Kraftcentre skal have – eller have adgang til – en avanceret infrastruktur i form af udstyr, som både kan udnyttes af offentlig forskning og virksomheder og dermed danne rammen om nye samspil og netværk. Det skal i den forbindelse overvejes, om



der findes eksisterende udstyr, som kan udnyttes. Det er således vigtigt at undgå, at der anvendes offentlige midler til finansiering af dyrt udstyr, som allerede findes i landet.

Det er vigtigt, at forskningen i kraftcentre lægger vægt på den gensidige agendasætning mellem industri og forskning. Der skal udvikles et dynamisk samspil, hvor påvirkningen går begge veje. Derfor lægges der stor vægt på, at forskningen er orienteret mod teknologiske muligheder og syntesearbejde, det vil sige udvikling af nye materialer og systemer samt frembringelse af produktmuligheder. Sikring af IPR, hvor det er muligt og relevant, skal have høj prioritet. Det bør kombineres med involvering af virksomheder i samarbejde om teknologimuligheder, såvel finansielt som mandskabs- og kompetencemæssigt.

Det er ligeledes vigtigt, at kraftcentre er forankret i uddannelsesmiljøer, det vil sige universiteter, således at kraftcentre dels kan virke som fyrtårne for tiltrækning af nye studerende, og dels kan få en effektiv teknologisk afsmitning i omgivelserne via uddannede kandidater, ph.d.'er og postdocs med nanoteknologiske kompetencer, som kan diffundere ud i virksomheder og det omgivende samfund i øvrigt.

Hvert af disse kraftcentre skal opnå en størrelse svarende til en aktivitetsramme på mindst 100 millioner kroner årligt, og ud over den eksterne finansiering fra diverse råd og fonde er det vigtigt, at værtsinstitutionen også deltager aktivt og massivt i finansieringen af kraftcentret.

Et kraftcenter skal være en samlet fysisk enhed og ikke et "center uden mure", da den fysiske samlokalisering af forskerne – typisk med vidt forskellig videnskabelig baggrund – er helt afgørende for en frugtbar udvikling. Værtsinstitutionen skal i stort omfang skaffe plads til centrene inden for eksisterende fysiske rammer. De øgede økonomiske midler skal gå til forskning og ikke til mursten.

Initiativ til etablering af et kraftcenter bør tages af værtsinstitutionen for kraftcentret, men det anbefales, at udbydere af de prioriterede satsninger spiller en proaktiv rolle i dannelsen af kraftcentre.

Styregruppen anbefaler, at kraftcentre får egne, selvstændige bestyrelser med eksterne flertal, herunder deltagelse af erhvervsinteresser og gerne med deltagelse af udenlandske eksperter. Bestyrelsesmedlemmer bør ikke være centrene kunder eller have direkte interesser i centrene virke. Centerbestyrelserne skal sikres de rette strategiske kompetencer (innovation, teknologioverførsel, venture kapital med mere).

Det bør være bestyrelsens ansvar, at der for centret formuleres en strategi, der kan dække over flere indsatsområder. Det er endvidere bestyrelsens ansvar, at centrene ikke blot er virtuelle "paraplyer" over eksisterende aktiviteter, men udgør selv bærende og reelt sammenhængende enheder.

Det anbefales, at kraftcentre enten direkte eller ved tætte samarbejdsrelationer opnår en "selvbærende karakter" inden for de aktuelle teknologiske platforme. Det indebærer også, at kraftcentre inddrager kompetencer dels inden for risiko, miljø og etiske spørgsmål, og dels inden for innovation, IPR, venture kapital samt kommercielle og ledelsesmæssige områder. Kraftcentre bør således etablere samarbejde med de eksisterende innovationsmiljøer.



Styregruppen anbefaler, at kraftcentrene kan starte og deltage i fællesejede iværksættervirksomheder.

Kraftcentrene forudsættes at have eller at opbygge forskerskoler på deres områder.

4. Forøg produktionen af kandidater og forskere

En øget satsning på nanovidenskab og nanoteknologi over de kommende år forudsætter, at der er tilstrækkelige kvalificerede kandidater og forskere til rådighed. Videnoverførsel mellem virksomheder og forskningsinstitutioner skal ikke mindst ske gennem uddannelse af kandidater, ph.d.'er og postdocs.

Styregruppen anbefaler, at Videnskabsministeriet indgår i dialog med universiteterne – for eksempel i forbindelse med indgåelse af udviklingskontrakter – om at videreudvikle studierne og forskerskolerne inden for nanoteknologi. Dette bør ske i interaktion med de ovenfor nævnte kraftcentre.

Styregruppen anbefaler, at mobiliteten mellem grundfag og tværgående “nano-fag“ på kandidatniveau stimuleres yderligere, ligesom en fri mobilitet mellem universiteter – herunder også udenlandske universiteter som universitetet i Lund – bør stimuleres. På den eksperimentelle front er der behov for, at uddannelserne styrkes, således at studerende kan opnå praktisk erfaring. Beløbene hertil vil være forholdsvis beskedne.

Styregruppen anbefaler, at studier og forskerskoler får den fornødne internationale forankring gennem samarbejdskonstellationer med relevante forskningsmiljøer internationalt.

Styregruppen anbefaler, at der i uddannelsesforløbet indbygges elementer, der sikrer, at kandidater og forskere får et tæt kendskab til betingelser for start og drift af iværksættervirksomheder, forretningsprocesser, IPR med videre samt får værktøjer til at integrere etik, miljø, sundhed og risici som en naturlig del af forskningsprocessen og forretningsudviklingen. Dette skal blandt andet medvirke til at øge mobilitet fra forskningen til erhvervslivet.

Styregruppen anbefaler endvidere, at der etableres undervisning i nanoteknologi allerede i gymnasierne og i folkeskolen. Sammenlignet med de tekniske og naturvidenskabelige fag i almindelighed appellerer nanoteknologi stærkt til ungdommen. Tidlig undervisning i nanoteknologi kan dermed have den positive sideeffekt, at den generelle interesse for – og søgning til – de tekniske og naturvidenskabelige uddannelser øges.

5. Udbred nanoteknologi bredt til danske virksomheder

Bredden af dansk erhvervsliv skal kunne deltage i denne industrielle revolution afledt af nanoteknologi.

Der skal gøres en særlig indsats for at initiere interessen for nanoteknologiens muligheder både hos nye og hos etablerede virksomheder. Som nævnt ovenfor indgår dette som en væsentlig del af opgaverne for de foreslåede kraftcentre.

Styregruppen anbefaler endvidere, at Rådet for Teknologi og Innovation anvender og videreudvikler de innovationspolitiske virkemidler, således at de understøtter spredningen af nanoteknologi til dansk erhvervsliv. Eksempelvis kan dette ske ved indgåelsen af resultatkontrakter med GTS-institutterne og fokusering på etablering af innovationskonsortier inden for de syv prioriterede teknologiområder.

Styregruppen anbefaler, at de innovationsmiljøer, der får nanokraftcentre i umiddelbar tilknytning, udvikler de nødvendige kompetencer til også at håndtere det nanoteknologiske område. Det anbefales, at der fortsat via innovationsmiljøer, Vækstfonden og lignende offentlige ordninger er adgang til at søge om støtte midler i udviklingsfasen blandt andet til patentering og skalering af produktionsprocesser rettet mod nanobaserede produkter.

Nanoområdet er på mange måder stadig et relativt nyt felt i patentsammenhæng, og der er oplagte muligheder for at få en god international position inden for nanoteknologiske patenter. Men patentering er dyrt på kort sigt, og det anbefales, at der afsættes tilstrækkelige ressourcer (midler og kompetencer) hertil – også til opfølgning efter patentanmeldelsen. Dette er særlig vigtigt for “kuvøsefirmaer”. Her er det også af betydning for innovationsprocessen, at der tilvejebringes midler og kapital til produktmodning og til markedsanalyser.

Endelig er det vigtigt, at nystartede virksomheder blandt andet igennem innovationsmiljøerne, får adgang til kompetence inden for ledelse og købmændskab i relation til højteknologisk forretningsudvikling.

6. Inddrag risici, sundhed, miljø og etik

Der skal sættes fokus på studier af mulige risici i relation til sundhedsmæssige, miljømæssige samt etiske aspekter i forbindelse med industrielle processer, materialer eller andre anvendelser af nanoteknologi.

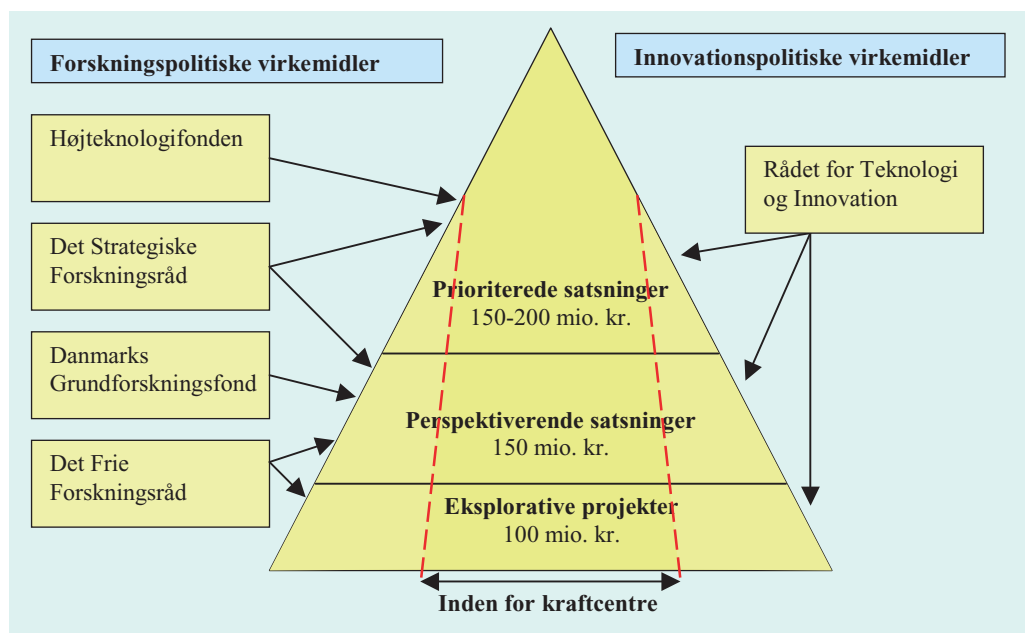
Styregruppen anbefaler, at der i tilknytning til bevillinger stilles krav om udarbejdelse af en risikovurdering omfattende fremstilling, brug og senere bortskaffelse samt afvejning i forhold til alternativer.

Forskningsmiljøer og institutioner inden for økotoksikologi, human toksikologi og etik bør forberede sig på at kunne rådgive virksomheder og myndigheder om nanoteknologiens miljømæssige, sundhedsmæssige og etiske aspekter.

Danmark bør tilskynde til, at EU spiller en aktiv rolle på området. EU bør medvirke til at koordinere og opsamle viden fra de mange risikovurderinger, der foretages verden over. Fra dansk side opfordres Miljøministeriet til at sætte fokus på området i samspil med relevante danske aktører med henblik på at skaffe et kvalificeret videngrundlag, der kan sikre en lovgivning, der på forkant med udviklingen tager højde for mulige negative sider af nanoteknologi. Det vil sikre danske virksomheder et fremtidssikkert grundlag for at disponere.

Opsummering

Der lægges op til en samlet offentlig dansk nanosatsning på i størrelsesordenen 400-450 millioner kroner årligt fra det forskningsbevillende system. Hertil kommer bidragene fra institutionerne og virksomhederne selv. Det skønnes at svare til en fire- til femdobling i forhold til bevillingerne i dag. Forskningspolitiske og innovationspolitiske virkemidler bør rettes mod aktiviteter både inden for og uden for kraftcentre.



Målepunkter for en dansk indsats

Denne handlingsplan sætter fokus på initiativer, der bør tages over de kommende år. Det er som sagt ikke muligt detaljeret at planlægge en dansk nanoindsats over 10 eller 20 år. Derfor vil styregruppen pege på nogle "målepunkter", der kan anvendes til at justere virkemidlerne fremover.

For forskningsselementerne kan målepunkterne være:

- > Offentlige bevillinger til nanovidenskabelig og -teknologisk forskning
- > Publikationer og citationer (den sidste måles dog med en del års forsinkelse)
- > Dansk deltagelse i EU's rammeprogrammer (specielt i ledende roller i de nye instrumenter Integrated Projects, Networks of Excellence og STREP)
- > Tiltrækning af udenlandske forskere såvel i excellence-klassen som på postdoc-niveau
- > Udstationering af danske forskere i førende udenlandske nanoteknologiske miljøer, herunder også i Fjernøsten
- > Tildeling af højt respekterede internationale priser.

For uddannelseselementerne kan målepunkterne være:

- > Udbud og kvalitet af nanouddannelser og tilhørende nanokurser
- > Producerede kandidater og forskere
- > Etablering af erhvervsrettede forskerskoler inden for nanoområdet.



For innovationselementerne kan målepunkterne være:

- > Nanoteknologiske opstartsvirksomheder
- > Størrelsen af virksomheders F&U-indsats på området
- > Virksomheder, der svarer positivt tilbage, at de har nanorelaterede aktiviteter og/eller produkter, der er kritisk afhængige af nanoteknologi
- > Investeringer fra Venture Capital og fra andre kapitalformidlere
- > Udenlandske firmaer, der etablerer sig med nanoteknologiske aktiviteter i Danmark
- > Ansøgte patenter, udstedte licenser og anden IPR-aktivitet
- > Virksomheder med forpligtende samarbejde med forskningsverdenen om forskning og udvikling.

Styregruppen anbefaler, at Videnskabsministeriet gennemfører en international høring af anbefalingerne og resultaterne af det teknologiske fremsyn.

>

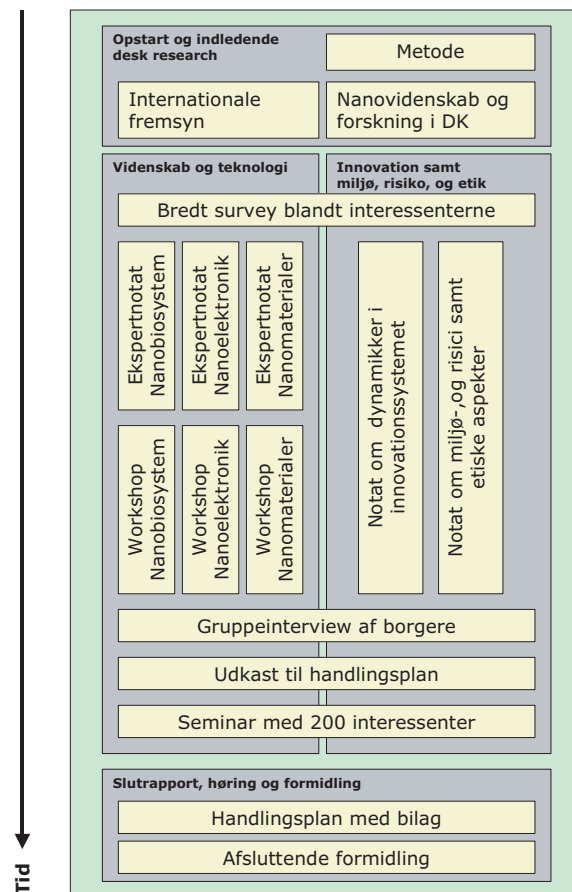
Bilag 1. Procesbeskrivelse – teknologisk fremsyn om nanoteknologi



Nanoteknologi er en ”emerging” teknologi, og det teknologiske domæne er kendetegnet af at være i en tidlig, meget eksplorativ og kreativ fase, hvor den brede erhvervmæssige udnyttelse på mange områder ligger år ude i fremtiden. Eksisterende nanoteknologiske virksomheder vil formodentlig også have erhvervmæssige interesser i området i fremtiden, men det må antages, at mange virksomheder først bliver skabt i de kommende år. Dette betyder, at det metodemæssigt har været meget svært at tage udgangspunkt i samfunds- og erhvervmæssige behov. Det er derfor mest hensigtsmæssigt at tage udgangspunkt i en kategorisering af selve teknologien og dens forskningsfelter. Nye muligheder vil formodentlig dannes i netværk og i grænsefladerne mellem eksisterende forsknings- og teknologifelter. Den overordnede vision for fremsynet har været igennem en bred inddragelse af relevante aktører og perspektiver at opstille et samfundsmæssigt robust og bredt accepteret grundlag for en sammenhængende og langsigtet dansk forsknings-, uddannelses- og innovationspolitik for nanovidenskab og nanoteknologi.

Væsentlige byggesten i processen har været udsagn (statements) eller hypoteser om nanovidenskabens og nanoteknologiens fremtidige forskningsmæssige og erhvervmæssige muligheder og konsekvenser (positive og negative). Disse hypoteser og udsagn er blevet systematisk indsamlet fra internationale teknologiske fremsyn, fra danske forskningsmiljøer og fra ekspertnotater. I de efterfølgende workshops er de blevet diskuteret og bearbejdet blandt andet med hensyn til tidshorisont, størrelsen af de erhvervmæssige muligheder, mulige negative konsekvenser, politiske virkemidler, også videre. Endelig er nogle illustrative eksempler udvalgt til handlingsplanen.

De enkelte delelementer er beskrevet i det følgende, og deres sammenhæng og rækkefølge fremgår af procesdiagrammet.



Internationale teknologiske fremsyn om nanoteknologi. Internationalt er der gennemført mange fremsynsprojekter og lignende om nanoteknologi, og indledningsvis blev der gennemført et review af disse. Resultaternes relevans for danske prioriteringer blev vurderet i den efterfølgende proces.

Dansk nanovidenskab og nanoteknologi. Informationer om dansk nanovidenskab og nanoteknologi blev i foråret 2004 indsamlet ved udsendelse af spørgeskemaer til

institutioner og virksomheder. Endvidere blev der udarbejdet en oversigt vedr. danske publikationer på området baseret på en europæisk database.

Bredt survey blandt interessenterne. Synspunkter fra en bred kreds af danske interessenter blev indhentet ved et internetbaseret kvalitativt survey. Spørgsmålene omfattede: a) navn og organisatoriske tilhørsforhold, b) hovedbeskæftigelsen, c) udviklingstendenser og videnskabelige gennembrud, d) tiltag og virkemidler, e) brancher og anvendelsesområder, f) andet af betydning for nanovidenskab og nanoteknologi. I alt blev 303 spørgeskemaer sendt ud, hvoraf 133 besvarede spørgeskemaet.

Faglige notater om nanobiosystemer, nanoelektronik/nanoptik og nanomaterialer.

Et centralt led i fremsynsprocessen har været udarbejdelsen af tre faglige ekspertnotater. Hvert notat er udarbejdet af en gruppe med fire eksperter udpeget af styregruppen. Notaternes funktion har for det første været at analysere det faglige område og for det andet at danne grundlag for en efterfølgende workshop inden for hvert område. Notaterne indeholder: a) beskrivelse af det teknologiske felt, b) vurdering af videnskabelige, teknologiske og markedsmuligheder, c) vurdering af danske styrkepositioner, d) vurdering af forsknings-, uddannelses- og innovationspolitiske betingelser og virkemidler, e) oversigt over generelle miljø-, risiko og etiske aspekter (positive som negative) på området.

Teknologiorienterede workshops. Hver workshop havde cirka 20 personligt inviterede deltagere dækkende de væsentligste aktører og faglige kompetencer inden for området. Det konkrete formål med workshoppen var for det første en kommentering og diskussion af ekspertnotatet og for det andet en diskussion af teknologiske og forskningsmæssige prioriteringer og forsknings-, uddannelses- og innovationspolitiske virkemidler.

Notat om innovationsdynamikker. Beskrivelse af typer af mekanismer, processer og dynamikker, som kendetegner ”emergent” teknologiske og videnskabelige udviklingsmiljøer og innovationsprocesser. Beskrivelsen har blandt andet taget teoretisk udgangspunkt i tankerne om værdiskabende FTM-netværk (Forskning, Teknologi og Marked).

Notat om miljø- og risikoaspekter samt etiske forhold. Notatet sammenfatter informationer fundet i den internationale litteratur og på internettet over mulige anvendelsesområder for nanoteknologi og de mulige konsekvenser for mennesker og miljø. Der er også udarbejdet et notat på engelsk, som indeholder mere udførlige informationer.

Gruppeinterview med borgere. Den almindelige borgers holdninger til nanoteknologiens muligheder (positive som negative) er væsentlig for større politiske satsninger på området. Undersøgelsen ”Borgeres holdninger til nanoteknologi” blev gennemført den 7. juni 2004 med 29 borgere fra Københavnsområdet. Undersøgelsen foregik som fire gruppeinterviews med efterfølgende besvarelse af et spørgeskema.

Seminar med interessenter. Fremlæggelse af første udkast til en forsknings-, innovations- og uddannelsespolitisk handlingsplan for nanoteknologi i Danmark. Formålet med seminaret var at skabe opmærksomhed om fremsynet og om nanoteknologi samt at præsentere handlingsplanen og at inddrage synspunkter fra flest




mulig af de danske interessenter i nanovidenskab og nanoteknologi om fremsynets og handlingsplanens væsentlige punkter. Seminaret blev afholdt d. 15. september 2004 med cirka 200 deltagere.


Handlingsplan og rapportering. Handlingsplanen er fremsynets hovedresultat og lægger hovedvægt på forsknings-, innovations- og uddannelsespolitiske anbefalinger til Videnskabsministeriet og det forskningsrådgivende og -bevilgende system, herunder Rådet for Teknologi og Innovation, Grundforskningsfonden og Højteknologifonden. Endvidere er de enkelte delelementer særskilt afrapporteret på vedlagte cd-rom.

Bilag 2. Tidshorisonter for nogle nanoteknologiske muligheder



I handlingsplanens afsnit 5 er der på de syv særligt prioriterede teknologiområder angivet en række eksempler på nanoteknologiske muligheder i fremtiden. Til de fleste af disse eksempler har der været overvejelser om tidshorisonten for, hvornår mulighederne kunne blive realiseret. Det er sket igennem de tre ekspertnotater, igennem det brede survey blandt interessenterne og igennem de tre workshop. Det er vigtigt at understrege, at der ikke er tale om en egentlig forudsigtelse af fremtiden. Der er tale om en vurdering.

NANO TF 		I hvilken periode vurderes udsagnet først realiseret.			
Udsagn nr.	Udsagn om nanoteknologiske muligheder i fremtiden Med hensyn til udviklingstrin anvendes nogle traditionelle, internationale definitioner: <u>Udvikling</u> : at opnå et bestemt teknologisk mål eller færdiggøre en prototype. <u>Praktisk anvendelse</u> : den første praktiske anvendelse (ofte på nichemarked) af et nyt produkt eller ny proces. <u>Udbredt anvendelse</u> : der er opnået en signifikant markedsposition af et nyt produkt eller en ny proces.	Før 2010	2011-2015	2015-2020	2021-2025
	Nanomedicin og drug delivery				
1	Praktisk anvendelse af intelligente systemer i drug delivery-systemer, der overvåger cellernes tilstand i kroppen og rapportere tilbage, hvis der f.eks. opstår kræft eller små blodpropper.				
2	Udvikling af selvsamlende nanokapsler bestående af funktionaliserede polymerer med henblik på cellespecifik genkendelse, kontrolleret frigivelse af den aktive komponent og sløring af partiklen over for kroppens immunforsvar.				
3	Udvikling og design af biokompatible materialer til drug delivery, der kan løse problemer med slow release, passage af blod, hjerne barriere osv.				
4	Udvikling af nye typer lægemidler (f.eks. selvansamling af peptider og/eller DNA-strengte til bioaktive komplekser) baseret på nanoskala-interaktioner og -strukturanstillinger.				
	Biokompatible materialer				
5	Udvikling af nanobioteknologi til reparation af defekte neuroner ved applikation af elektrisk ledende nanostrukturer.				
6	Praktisk anvendelse af syntetiske overflader med biologiske egenskaber til brug i implantater, proteser og medicoteknisk udstyr i langvarig kontakt med menneskelige celler og væv.				
7	Praktisk anvendelse af nanodesignede overflader, der fremmer eller hæmmer vedhæftning af f.eks. bakterier eller alger (antifouling).				
	Nanosensorer og nanofluidik				
8	Praktisk anvendelse af NEMS (Nano Elektro-Mekanisk System) til selektiv detektion af udvalgte molekyler eller celler, måling af varmeudvikling, måling af bindingsenergier osv.				
9	Udvikling af meget effektive, distribuerede sensorsystemer baseret på kombination af CMOS-chips med NEMS-sensorer, der trådløst afleverer deres målinger, f.eks. til miljøovervågningen, proceskontrol, indeklimakontrol og trafikikkerhed.				
10	Praktisk anvendelse af "Lab-on-a-chip systemer" baseret på nanooptik og nanofluide væskehåndteringssystemer til point-of-care diagnostik.				
11	Praktisk anvendelse af implanterede sensorer til overvågning af for eksempel infektioner.				
	Plastelektronik				
12	Praktisk anvendelse af polymerelektronik integreret i emballage (displays og sensorer), som vil gøre det muligt at overvåge varers generelle tilstand og historie under transport og opbevaring.				
13	Praktisk anvendelse af polymertransistorer integreret i engangsdstyr til analytiske formål i den primære sundhedstjeneste.				
14	Praktisk anvendelse af flerfarvede plastdisplays i stedet for flydende krystaldisplays.				
15	Praktisk anvendelse af RFID-mærker baseret på polymerfelleffektransistorer.				
16	Praktisk anvendelse af solcelleteknologi baseret på polymerelektronik og polymeroptik.				

NANO TF 		I hvilken periode vurderes udsagnet først realiseret.			
Udsagn nr.	<p>Med hensyn til udviklingstrin anvendes nogle traditionelle, internationale definitioner:</p> <p><u>Udvikling</u>: at opnå et bestemt teknologisk mål eller færdiggøre en prototype.</p> <p><u>Praktisk anvendelse</u>: den første praktiske anvendelse (ofte på nichemarked) af et nyt produkt eller ny proces.</p> <p><u>Udbredt anvendelse</u>: der er opnået en signifikant markedsposition af et nyt produkt eller en ny proces.</p>	Før 2010	2011-2015	2015-2020	2021-2025
Nanooptik og nanofotonik					
17	Praktisk anvendelse af mikrostrukturerede fibre i fiberens længderetning til anvendelse i højeffektlasere (svejsning, lyskilder i store displays etc.), superkontinuum-genererende enheder og specialanvendelser i optiske kommunikationssystemer, switche mv.				
18	Praktisk anvendelse af kompakte og prisbillige nano/mikro- strukturerede plane komponenter med integration af optiske kredsløb, som er baseret på fotoniske båndgab. Anvendelse til fiber-to-home og sensorer.				
19	Udvikling af nye sensorer eller optiske switche, der er baseret på opfyldning (med væsker, belægninger eller flydende krystaller) af finstrukturen i optiske krystalfibre.				
20	Praktisk anvendelse af simple signalbehandling (såsom modulation, bølglængdekonvertering, firbølgeblanding og optisk konjugation) baseret på PBG-strukturer med indbyggede optiske elementer med stor uliniariet.				
Nanokatalyse, brintteknologi m.m.					
21	Praktisk anvendelse af skræddersyede katalysatorer og andre funktionelle nanomaterialer ved brug af in situ-metoder, teoretiske metoder og lign.				
22	Praktisk anvendelse af oplagring af brint på kemisk form, f.eks. metan, metanol eller ammoniak eller i form af metalhydrider på basis af nye materialer baseret på nanoteknologi/nanopartikler.				
23	Praktisk anvendelse af nye, billigere SOFC- og PEM-brændselsceller med lang levetid under realistiske betingelser.				
24	Udvikling og forbedring af katalysatorer på basis af naturlige enzymer, som er effektive ved lave temperaturer og tryk.				
25	Praktisk anvendelse af nanosystemer til specifik katalyse for nedbrydning af forurenende stoffer i naturen ved brug af preorganisering af reagenser, katalyse og frigivelse af produkt.				
Nanomaterialer med nye funktionelle egenskaber					
26	Praktisk anvendelse af legeringer eller keramiske materialer, der krystalliseres med meget lille kornstørrelse (høj styrke og god formbarhed) til højværdiprodukter fra mikro- til makroskala fra implantater til sportsudstyr.				
27	Udvikling af nanokompositter, som er stærkere, mere varmebestandige og har bedre kemisk resistens end rene polymerer. Korrosionsbestandighed, lyddæmpning, emnekonsolidering og genanvendelighed forbedres.				
28	Praktisk anvendelse af vævede og ikke-vævede tekstiler fremstillet af polymerfibre i tekstil- og hygiejneindustrien				
29	Udvikling af nye typer coatings med indbyggede funktioner enten ved at indbygge en kemisk funktionalitet via nanopartikler eller ved en nanostruktureret topologi.				
30	Praktisk anvendelse af blokcopolymerer til udvikling af selvreparerende overflader (materialet sørger selv for, at det er den rette funktionelle blok, der er eksponeret).				
31	Praktisk anvendelse af nanoporøse materialer som filtre inden for fødevarer- og nydelsesmiddelindustrien				
32	Udvikling af termoelektriske materialer med radikalt forbedrede egenskaber til køling og energiproduktion baseret på strukturer i nanostørrelse.				



Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenkab og nanoteknologi

Handlingsplan - December 2004

Danmark skal frem mod år 2020 være iblandt de absolut bedste lande i verden til – inden for udvalgte områder – at beherske og omsætte nanoteknologi til industriel anvendelse, øget vækst og beskæftigelse – og til løsninger af væsentlige samfundsmæssige behov.

Det er visionen i denne handlingsplan, der er udarbejdet af en styregruppe nedsat af Videnskabsministeriet.

Beherskelsen af nanoteknologi anses af de førende industrilande som afgørende for deres økonomiske og teknologiske konkurrenceevne i det 21. århundrede. Nanoteknologi kan bane vejen for en ny industriel revolution i lighed med indførelsen af dampmaskinen, elektrificeringen og computerteknologien. Det er en tværgående teknologi, der vil finde anvendelse inden for en lang række områder fra elektronik og it til mere effektive lægemidler med færre bivirkninger, nye katalysatorer til gennemslagskraftige miljø- og energiteknologier, biokompatible materialer til implantater, optiske nanostrukturer til ultrahurtig kommunikation og biologisk produktion af materialer.

Styregruppen for fremsynet har fra december 2003 til november 2004 indsamlet en lang række data fra ind- og udland om nanoteknologiens potentialer og risici samt været i dialog med en række eksperter og interessenter om den kurs, vi i Danmark med fordel kan følge, hvis vi skal høste frugterne af – og undgå problemer med – denne nye teknologi.

I handlingsplanen giver styregruppen sit bud på, hvordan visionen kan realiseres.

Den vedlagte cd-rom indeholder alle de baggrundsanalyser, som ligger til grund for handlingsplanen.

Du kan læse mere om det teknologiske fremsyn om nanoteknologi samt om Videnskabsministeriets øvrige teknologiske fremsyn på:

www.teknologiskfremsyn.dk

